

Análisis Geográficos

REVISTA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

Memorias técnicas

SEMANA GEOMÁTICA

2017 Volúmen I



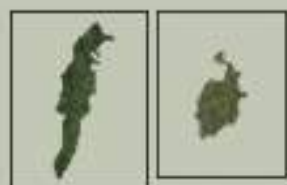
IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia







Análisis Geográficos

REVISTA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

Número 54, 256 p., Bogotá, Colombia, 2017

IVÁN DUQUE MÁRQUEZ

Presidente de la República de Colombia

MARTHA LUCÍA RAMÍREZ

Vicepresidente de la República de Colombia

EVAMARÍA URIBE TOBÓN

Director General Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

CONSEJO DIRECTIVO

Dr. JUAN DANIEL OVIEDO ARANGO

Director General del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)
Presidente del Consejo Directivo

Dra. GLORIA AMPARO ALONSO MÁSMELA

Director General del Departamento Nacional de Planeación (DNP)

Dr. GUILLERMO BOTERO NIETO

Ministro de Defensa Nacional

Dr. RICARDO JOSÉ LOZANO PINZÓN

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Dr. ANDRÉS VALENCIA PINZÓN

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Dra. EVAMARÍA URIBE TOBÓN

Director General del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Dra. MÓNICA HILARIÓN MADARIAGA

Secretaria General del Instituto Geográfico Agustín Codazzi



COMITÉ CIENTÍFICO SEMGEO 2017

Adriana María Rojas Vargas
Luis Alexander Vergara Garzón
Héctor Ariel Perilla García
Carlos Andrés Franco Prieto
Carlos Iván Rivera Parra
Norma Carolina Espejo Delgado
David Arenas Herrera
Elena Posada
Henry Omar Augusto Castellanos Quiroz
Leonor Ayde Rodríguez Rojas
Lina María Parada Alzate
Luz Ángela Castro Nungo
María Antonieta Pérez Umaña
Nelson Andrés Nieto Valencia
Oscar Ibán Herrera Moreno
Osman Javier Roa Melgarejo
Oswaldo Ibarra Ortiz
Serena Sarah Weber
Sergio Alejandro Rojas Barbosa
Victoria Daniela Camacho Ochoa
Yesenia Vargas Tejedor

COMITÉ EDITORIAL

- **Evamaría Uribe Tobón**
Director General
- **Mónica Hilarión Madariaga**
Secretaria General
- **Juan David Méndez Niño**
Subdirector de Geografía y Cartografía
- **Guillermo López Pérez**
Subdirector de Agrología

EDICIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO

- **Luz Ángela Uscátegui Cuellar**
Correctora de estilo, Oficina CIAF
- **Daniela Lorena Rojas Galván**
Correctora de estilo, Oficina CIAF

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

- **Juan Pablo Mahecha Sierra**
Diseñador Gráfico, Oficina CIAF
- **Laura Silvana Arévalo Acuña**
Diseñador Gráfico, Oficina CIAF

COMITÉ ORGANIZADOR SEMGEO 2017

*Centro de Investigación y
Desarrollo en Información
Geográfica (CIAF)*

Elena Posada
Fredy Gutiérrez
José Medardo Castillo
Evy Jaramillo
Jaime Silva
Gina Marcela Popayán
Yesenia Vargas
Sarah Weber
Lina Parada
Diego Bustamante
Juan Pablo Mahecha
Sandra Rojas
Luz Ángela Uscátegui
Doris María Rojas
María Libia Ortiz
Adriana María Rojas

*Subdirección de Geografía
y Cartografía*
Luz Ángela Castro
Francisco Mora

Subdirección de Agrología
Jorge Sánchez
Janeth González

*Oficina Asesora de
Planeación*
Andrea del Pilar Moreno

Difusión y Mercadeo
Alba Giraldo
Yudy Morón

Talento Humano
Jana Carvajal
Elizabeth García

- **Jorge Augusto Bonil Cubides**
Subdirector de Catastro
- **Diana Carolina Oviedo León**
Jefe Oficina Asesora de Planeación
- **Alexander Ariza**
Jefe Oficina CIAF
- **Cesar Augusto Boxiga Sánchez**
Jefe Oficina de Difusión y Mercadeo

- **Luis Carvajal Celemín**
Asesor Dirección General

- **Laura Ximena Palacio**
Diseñador Gráfico, Oficina CIAF
- **Luis Nicolás Pulido Fonseca**
Diseñador Gráfico, Oficina CIAF

El comité editorial agradece a los pares evaluadores que hicieron posible este volumen: Camila Vanessa Valero Carvajal (Ingeniera ambiental, Universidad Santo Tomás [USTA]), Angie Lorena Avendaño Gómez (Ingeniera topográfica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Norma Carolina Espejo Delgado (Especialista en sistemas de información geográfica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Orlando Alfonso López Pérez (Ingeniero catastral y geodesta, especialista en sistemas de información geográfica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Osman Javier Roa Melgarejo (Especialista en sistemas de información geográfica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Biólogo, Universidad del Atlántico). Elena Posada (MSc en Ingeniería Forestal, Academia Forestal de Leningrado, Kiróv).

NOTA DEL EDITOR

Los artículos que se publican en el número 54 de la revista *Análisis Geográficos* fueron presentados en la Semana Geomática 2017 y seleccionados por su valor temático, además de cumplir con la mayor parte de las indicaciones para la presentación de documentos en extenso.

Sin embargo, cabe aclarar que los artículos referidos se prepararon respetando los originales enviados por los autores, salvo adecuaciones a las normas editoriales.

En consecuencia, la responsabilidad de los contenidos y las imágenes empleadas es exclusivamente de los autores y no comprometen al Comité Editorial ni al editor de la revista.

De los artículos aceptados en la revista *Análisis Geográficos*, se entenderá que su autor o autores le ceden a esta los derechos patrimoniales para su publicación en cualquier forma o medio (análogo o digital).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Oficina Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF)

Análisis Geográficos: Tecnologías de la información para la consolidación ambiental y productiva del territorio

La Séptima Semana Geomática Internacional / El Instituto. Bogotá. No. 54, 2017

256 p. con ilustraciones, mapas a color y cuadros.

*Incluye referencias bibliográficas
Texto bilingüe español-inglés*

*ISSN (impreso) 0120-8551
ISSN (electrónico) 2590-7123*

1. Conferencias magistrales 2. Planificación territorial y catastro 3. Infraestructura de datos espaciales 4. Percepción remota 5. Geodesia 6. Sistemas de información geográfica

POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO

Esta revista proporciona un acceso abierto a su contenido, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global del conocimiento.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons [Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](#).



Para más información
escanea este código y
visita nuestra página:
www.igac.gov.co



[Igeo Colombia](#)



[ThwGACTV](#)



[@Igeo Colombia](#)



[Igeocolombia](#)

TABLA DE CONTENIDO

TABLE OF CONTENTS



Alternativas innovadoras para el conocimiento detallado del territorio

11

Lina Marcela García, Euclides Barandica,
Humberto Loaiza y Jean Pierre Díaz

La realidad aumentada como herramienta para
entornos geográficos virtuales

11

*Augmented reality as a tool for virtual
geographic environments*

26

Horacio R. Bozzano

Territorios posibles e inteligencia territorial: una fórmula
entre la gente, la ciencia y las políticas públicas.
Casos en Argentina y Colombia

26

*Possible territories and terrestrial intelligence: a
formula between people, science and policies.
Cases in Argentina and Colombia*

Innovaciones en el desarrollo tecnológico y aplicaciones de observación de la tierra para el ordenamiento territorial

87

Pedro Emilio Caicedo Ríos

Análisis basado en objetos de imágenes Vexcel
UltraCam D para detectar conjuntos residenciales en
los municipios de Pereira y Dosquebradas con fines de
precenso catastral por parte del IGAC

87

*Object based images Vexcel UltraCam D analysis to
detect residential complexes in the municipalities
of Pereira and Dosquebradas with the purpose of
cadastral pre-census of IGAC*

117

Jesús Roberto Romero Ruíz

Proceso de creación de la Agencia Espacial
Mexicana: Retos y oportunidades

117

*Creation process of the Mexican Space Agency:
Challenges and opportunities*

127

Alexander Vergara, David Arenas

Evaluación de la Viabilidad del uso de Aeronaves
No Tripuladas para la Elaboración de Cartografía
Catastral Multipropósito

127

*Assessment of the Viability of the Use of Unmanned
Aircraft for the Elaboration of Multipurpose
Cadastral Mapping*

Inventario y monitoreo de recursos naturales

145

Omar Enrique Peláez-Martínez, Gloria Yaneth
Flórez-Yepes y Óscar Cardona-Morales

Caracterización de niveles de intervención
antrópica en ecosistemas de páramo utilizando
análisis de imágenes multiespectrales

145

*Characterization of anthropic intervention levels
in paramo ecosystems by multispectral image
analysis*

163

Deyanira Lobo L., Juan Carlos Rey B., Ana P. Carpio J., Emileydi Namias H. y Ángel Valera

Definición de zonas de manejo específico con base en propiedades físicas y químicas del suelo y variables morfométricas del cultivo

163

Definition of specific management areas based on soil physical and chemical properties and morphometric variables of the crop

187

Jorge A. Sánchez Espinosa

Características Redoximórficas en Paleoambientes de los Andes Colombianos

187

Redoximorphic Characteristics in the Colombian Andes

Sistemas soporte de decisiones para la gestión territorial: SIG e IDE

207

Robin Alexis Olaya

IDESC: experiencia de éxito en la gestión de la información geográfica de Santiago de Cali

207

IDESC: Successful experience in the management of the geographical information of Santiago de Cali

Propuestas innovadoras de semilleros de investigación

223

Alejandro Carvajal-Téllez, Hernán Javier Díaz-Perdomo y José Gregorio Vásquez

Vuelos no tripulados y cartografía participativa, una herramienta para la organización espacial: estudio de caso de la comunidad indígena Tikuna de San Martín de Amacayacu, Amazonas, Colombia

223

Unmanned aerial vehicle and participatory mapping, a tool for spatial organization: A case study of the Tikuna indigenous community of San Martín de Amacayacu, Amazonas, Colombia

239

Sulma Yaneth Suárez-Aristizabal, Omar Javier Daza-Leguizamón y Gladys Alcira Riaño-Cano

Análisis de viabilidad ambiental para la actividad minera en el municipio de Sogamoso, Boyacá

239

Analysis of environmental feasibility for mining in Sogamoso, Boyacá

Tecnologías de la información geográfica como apoyo a la seguridad pública y nacional

249

German Clavijo, Hernando Bernal y Jorge Fonseca

La geografía como herramienta para el monitoreo de actividades ilegales: el caso de las sustancias químicas utilizadas en los procesos de extracción y transformación de la cocaína

249

Geography like a tool for monitoring of illegal activities: Case of chemical substances used in processes of extraction and processing cocaine



PRESENTACIÓN

La Semana Geomática: aportes al desarrollo territorial (2da entrega)

El número 54 de la revista *Análisis Geográficos* es el segundo de una serie que contiene los artículos derivados de las ponencias presentadas durante la 7ª versión de la Semana Geomática Internacional, que se celebra cada dos años y es organizada por el Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica (CIAF) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, por lo cual los contenidos se organizaron de acuerdo con los ejes temáticos que se abordaron durante el evento.

El volumen se inicia con el eje temático “Alternativas innovadoras para el conocimiento detallado del territorio”, con dos artículos, el primero, escrito por Lina Marcela García, Euclides Barandica, Humberto Loaiza y Jean Pierre Díaz, ingenieros de la Universidad del Valle que presentan un método para fusionar y visualizar superficies y ortofotos sobre planos topográficos mediante técnicas de realidad aumentada adaptadas para su uso con datos georreferenciados que facilitan la interacción humano-máquina en ámbitos geográficos. El segundo, en el que el Dr. Horacio Bozzano nos propone los Territorios Posibles en Colombia y Argentina, estos vistos como la clave en la relación gente-ciudad-políticas públicas.

En el eje temático “Innovaciones en el desarrollo tecnológico y aplicaciones de observación de la tierra para el ordenamiento territorial” se presentan tres artículos: Pedro Emilio Caicedo, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, efectúa un análisis basado en objetos de imágenes Vexcel UltraCam D para detectar conjuntos residenciales en los municipios de Pereira y Dosquebradas con fines de precenso catastral por parte del IGAC, mientras Jesús Roberto Romero hace una aproximación a los retos y las oportunidades que se han presentado con la creación de la Agencia Espacial Mexicana. Por último, Alexander Vergara y Daniel Arenas presentan un análisis evaluativo del uso de Aeronaves no tripuladas para la elaboración de Cartografía Catastral Multipropósito.

En el eje “Inventario y monitoreo de recursos naturales”, Omar Enrique Peláez, Gloria Yaneth Flórez y Óscar Cardona, del Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos y Ambientales de la Universidad Católica de Manizales, efectúan una caracterización de los niveles de intervención antrópica en ecosistemas de páramo utilizando análisis de imágenes multiespectrales. Deyanira Lobo, Juan Carlos Rey, Ana Carpio, Emileydi Namias y Ángel Valera, de las universidades Central de Venezuela y Nacional Experimental Rómulo Gallegos, centran su interés en la delimitación de zonas de manejo específico con



base en propiedades físicas y químicas de un suelo lacustrino y variables morfométricas del cultivo de banano, y presentan los resultados de un estudio desarrollado en el estado Aragua, Venezuela. Además, Jorge Sánchez

En el cuarto eje, “Sistemas soporte de decisiones para la gestión territorial: SIG e IDE”, tenemos un artículo de Robin Alexis Olaya, magíster en Tecnologías de la Información Geográfica, en el cual presenta el proceso exitoso de la Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali (IDESC) y el modo en el que se ha conseguido resolver inconvenientes relacionados con la gestión de la información geográfica oficial del municipio.

En el eje temático “Propuestas innovadoras de semilleros de investigación”: los vuelos no tripulados y cartografía participativa como herramienta para la organización espacial es el tema del trabajo de Alejandro Carvajal y Hernán Javier Díaz, de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A., junto con José Gregorio Vásquez, líder indígena de la comunidad Tikuna, que presentan los resultados de un estudio de caso desarrollado en San Martín de Amacayacu, en el Amazonas colombiano. Cerramos este volumen con el trabajo de Sulma Yaneth Suárez, Omar Javier Daza y Gladys Alcira Riaño, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, que presentan un análisis espacial de los componentes abiótico, biótico y sociocultural para evaluar la viabilidad ambiental de la actividad minera en el municipio de Sogamoso, Boyacá.

Este número finaliza con las “Tecnologías de la información geográfica como apoyo a la seguridad pública y nacional” tenemos un artículo de German Clavijo, Hernando Bernal y Jorge Fonseca, quienes han trabajado en el proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos de la Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (SIMCI-UNODC) y se centran en la geografía como herramienta para el monitoreo de actividades ilegales, específicamente en la gestión de la información sobre las sustancias químicas utilizadas en los procesos de extracción y transformación de la cocaína.

Esperamos que esta segunda selección de artículos sea un aporte significativo para la investigación en temas relacionados con la geomática, y que siga contribuyendo a la transformación del territorio y la búsqueda de un mayor desarrollo económico y social con sostenibilidad.

Alexander Ariza

Jefe Oficina Centro de Investigación y
Desarrollo de Información Geográfica - CIAF
Instituto Geográfico Agustín Codazzi



INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

Información
**agrológica, catastral,
geográfica y de datos
espaciales** al servicio de la
construcción de un **nuevo país**

Visítanos en: www.igac.gov.co



igacColombia



TheIGACTV



@igacColombia



igacColombia

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia

La realidad aumentada como herramienta para entornos geográficos virtuales

Augmented reality as a tool for virtual geographic environments

Lina Marcela García Moreno¹, Euclides Barandica Zemanate²,
Humberto Loaiza Correa³, Jean Pierre Díaz Paz⁴

Resumen

Un entorno geográfico virtual, como herramienta para visualizar e interactuar con la información geográfica, facilita la interpretación de datos espaciales, contrario a la experiencia del usuario frente a valores y figuras plasmadas en papel. En este artículo se presenta un método para fusionar y visualizar superficies y ortofotos sobre planos topográficos mediante técnicas de realidad aumentada adaptadas para su uso con datos georreferenciados que facilitan la interacción humano-máquina en ámbitos geográficos. Sobre el lenguaje Matlab, se desarrolló una aplicación para integrar las superficies y los planos mediante el seguimiento de puntos característicos en el espacio de color HSV con redes neuronales. Se definió un protocolo de prueba y se evaluó la aplicación con una base de datos compuesta por nubes de puntos y ortofotos de un sector del municipio de Versalles, departamento del Valle del Cauca. La aplicación se evaluó con un enfoque cualitativo para establecer la experiencia del usuario a través de diferentes características de los elementos virtuales utilizados, como la apariencia, la luminosidad requerida y la interacción, entre otros, y con un enfoque cuantitativo para establecer la precisión de la visualización generada por el procedimiento de integración. Las pruebas realizadas al sistema muestran un 91,48% de satisfacción para imágenes estáticas en la introducción de la superficie virtual en la cartografía y un error promedio de posicionamiento de 6° en azimuth y 3,5° en elevación. De acuerdo con la experiencia de los usuarios, la aplicación desarrollada facilita la interpretación de ortofotos georreferenciadas.

Palabras clave: fotointerpretación, ortofotos, 3D, planos topográficos, georreferenciación.

¹ Ing. Universidad del Valle. Correo: lina.m.garcia@correounivalle.edu.co.

² Ing. Universidad del Valle. Correo: euclides.barandica@correounivalle.edu.co.

³ PhD Universidad del Valle. Correo: humberto.loaiza@correounivalle.edu.co.

⁴ Ing. Universidad del Valle. Correo: jean.diaz@correounivalle.edu.co.





Abstract

A virtual geographic environment, as a viewing and interaction tool, facilitates the interpretation of special data, contrary to the experience on flat figures. We present a method to fuse and view digital surfaces and ortophotos over topographic planes by using augmented reality techniques adapted to be used with georeferenced data and facilitating human-machine interaction in geographical works. We developed a Matlab tool to integrate surfaces and planes by tracking feature points in the color space HSV with neural networks. We designed a test protocol and assessed the tool by using a dataset composed by point clouds and ortophotos from a section of the municipality Versalles, department Valle del Cauca in Colombia. The evaluation was qualitative for user experience by assessing different virtual elements like: appearance, required illumination, etc. The evaluation was quantitative to test the viewing precision by the integration method. The tests show a user satisfaction of 91.48% for static images and a mean error of 6° for azimuth and 3.5° for elevation. The evaluation shows that the developed method facilitates the interpretation of georeferenced ortophotos.

Keywords: photointerpretation, orthophoto, 3D, topographic plans, geo-referenced.



Introducción

Actualmente, las ideas se visualizan y representan de múltiples formas. Esto se ha logrado, en parte, con imágenes digitales y con la creación de objetos tridimensionales en sistemas que simulan un espacio, como las tecnologías de diseño asistido por computadora CAD. Sin embargo, estas tecnologías no representan a cabalidad el mundo real y sus diferentes perspectivas (Lara & Villarreal, 2004). Las tecnologías de diseño CAD son la base de los modelos virtuales que corresponden en similitud a las estructuras originales en el medio real, por lo cual son la plataforma principal para el cambio de características físicas de los objetos en formato virtual (Fonseca, Martí, Redondo, Navarro & Sánchez, 2014). Al integrar, a través de realidad aumentada, los modelos virtuales con los entornos reales se permiten, en el contexto de los entornos geográficos virtuales, la descripción, el análisis y la caracterización de la superficie (Ruiz, Urdiales Fernández-Ruiz & Sandoval, 2004).

La realidad aumentada es una variación de los ambientes virtuales que habilita al usuario para percibir un entorno real con inserción de objetos virtuales (Nájera Gutiérrez, 2009). Esta situación impacta positivamente en la toma de decisiones (Ruiz et al., 2004) en las etapas de materialización, planificación, cumplimiento de diseños planteados y mantenimiento (Klinker, Stricker & Reinert, 2001). Además, si los objetos se encuentran georreferenciados, se facilita la relación entre la máquina, el usuario, el entorno y el territorio (Coelho & Bähr, 2005; Olalde, García & Seco, 2013), tal como sucede en los entornos geográficos virtuales.

Los entornos geográficos virtuales están conformados por bases de datos, modelación, simulación y un componente interactivo. Estas partes se integran para permitir la exploración del territorio y de los diversos cambios que se presentan sobre este (Liu & Hao, 2010). En la actualidad, el aumento de tecnologías inmersivas, como las gafas de realidad virtual, ha impulsado el desarrollo de estos entornos para visualizar datos geoespaciales integrados con sistemas de información geográfica (GIS, por la sigla en inglés de Geographic Information System) y otras tecnologías de información de manera simultánea, reorientándose hacia métodos multimodales de interacción hombre-máquina.

En Latinoamérica, el uso de realidad aumentada ha impulsado el desarrollo de actividades que facilitan el aprendizaje debido a su capacidad de interacción (Malbos, Rochadel, De Lima & Da Silva, 2014). A su vez, en las ciencias geodésicas ha sido usada para establecer puntos de interés con información relevante (Silva & Silva, 2012) y mejorar la interpretación de cartografía (Uceda, 2014).

A nivel nacional, el desarrollo de esta herramienta se ha dado en investigaciones en ciencias médicas referentes a la cardiología (Ortiz Rangel, 2011), para la visualización de información urbana georreferenciada, por parte del grupo Imagine de la Universidad de los Andes (Wilches & Figueroa, 2011), para la localización de sitios turísticos en la Universidad Nueva Granada, implementando realidad aumentada (Callejas, Quiroga & Alarcón, 2011) y en sistemas georreferenciados de realidad aumentada con dispositivos móviles como herramienta (Leguizamón, Gaviria & Rodríguez, 2012).





En la siguiente sección se describe el sistema de realidad aumentada que se implementó como un componente interactivo para los entornos geográficos virtuales; en la sección 3 se presentan las pruebas y los resultados que permiten evaluar y validar el funcionamiento del sistema y, finalmente, en sección 4 se presenta las conclusiones.

Sistema de realidad aumentada para entornos geográficos virtuales

El esquema de la figura 1 presenta las etapas básicas para la implementación de realidad aumentada. Inicialmente, se realiza un registro de señales del mundo real mediante una cámara digital. Estas imágenes se procesan para encontrar la correspondencia geométrica que permita estimar la posición y orientación que tiene el usuario. Posteriormente, se transforman los elementos virtuales en conjunto con las imágenes reales para alinear los mundos. Finalmente se realiza la visualización, permitiendo así que el usuario perciba la integración de las superficies virtuales en el entorno real (Lara & Villarreal, 2004).

Para integrar el concepto de realidad aumentada al trabajo cartográfico, se desarrolló una plataforma y una aplicación de software que permiten que el usuario explore el territorio representado en un plano topográfico.

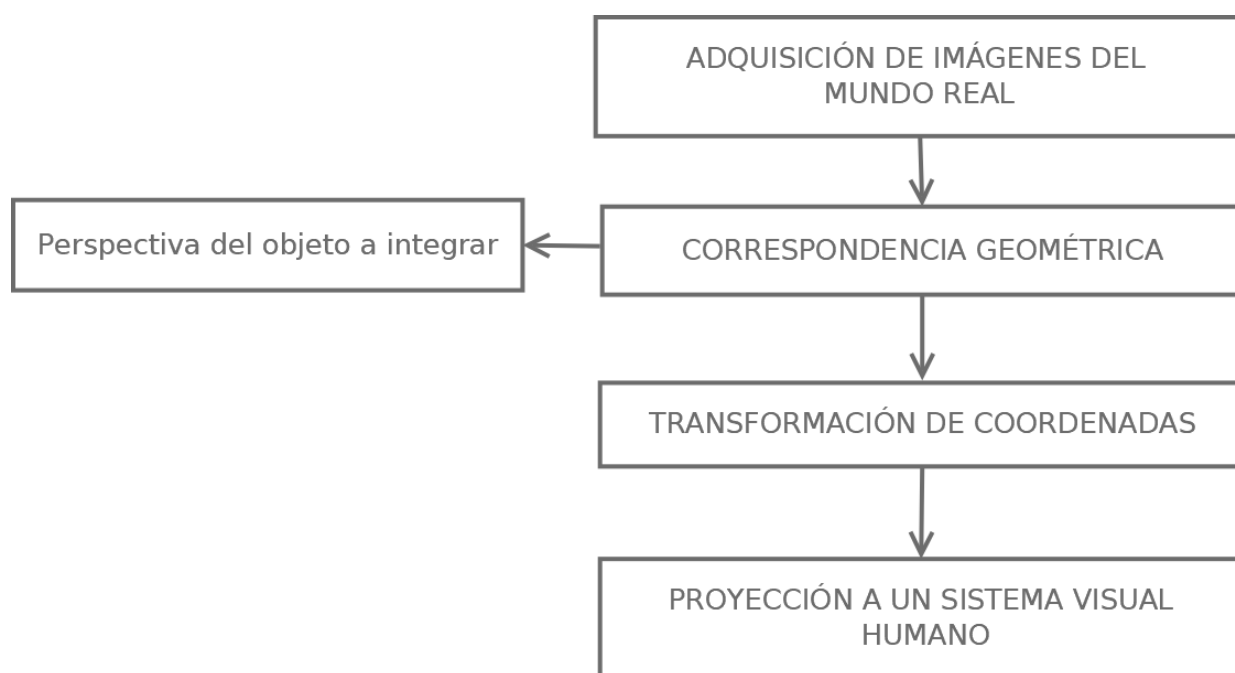


Figura 1. Diagrama general para la implementación de realidad aumentada
Fuente: elaboración propia.

Plataforma experimental

La plataforma desarrollada permite la integración del ambiente de trabajo con la superficie generada al fusionar un modelo de elevaciones con ortofotos en espectro visible para facilitar la interpretación de las características del terreno. El prototipo consta de una cámara web, un plano topográfico, una plantilla de marcadores y una unidad de procesamiento (figura 2).





Figura 2. Configuración física de la plataforma: a) plano topográfico, b) cámara web, c) computador y d) plantilla de marcadores
Fuente: elaboración propia.

La cámara captura imágenes del entorno, compuesto por los marcadores, el plano topográfico y el fondo. Las imágenes son la fuente de información sobre la que se visualiza de la superficie virtual con una perspectiva determinada por el usuario. Se usó una cámara Microsoft LifeCam VX-3000 con resolución de 1280 x 960 píxeles y velocidad de captura de 30 fps.

Los planos topográficos contienen, junto con otro tipo de información, la altimetría codificada de acuerdo con las convenciones de las curvas de nivel. En este prototipo se usaron 12 planos topográficos a escala 1:525 del municipio de Versalles, ubicado en el departamento del Valle del Cauca. Estos permitieron su comparación con la superficie tridimensional correspondiente.

La plantilla de marcadores se usó para estimar los parámetros extrínsecos de la cámara respecto al sistema de coordenadas del plano topográfico, es decir, la posición y orientación de la cámara. Nájera Gutiérrez (2009) sugiere usar al menos seis puntos con correspondencia bidimensional y tridimensional al estimar los parámetros extrínsecos, por lo cual, y para no elevar el costo computacional en el cálculo de los parámetros extrínsecos, se usaron ocho marcadores circulares de colores fácilmente diferenciables, como se muestra en la figura 3.

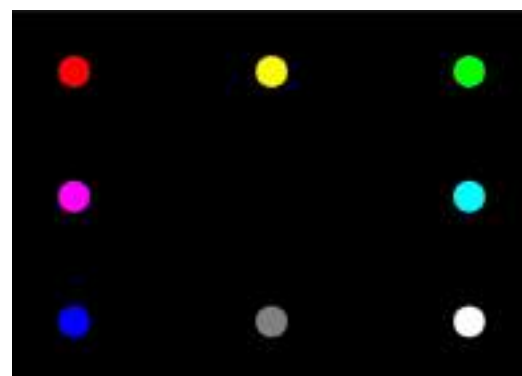


Figura 3. Plantilla de marcadores.
Fuente: elaboración propia.

Todos los datos se procesan, almacenan y visualizan en un computador con las siguientes características: procesador Intel Core i5-3337U a 1.8 GHz, memoria RAM de 6 GB, HDD de 1 TB, tarjeta graficadora de 2 GB y pantalla de 14" configurada para visualizar a 1366 x 768 píxeles.



Implementación de la etapa de realidad aumentada

La figura 4 ilustra la aplicación desarrollada para interactuar con los entornos geográficos virtuales a través de realidad aumentada.

En la etapa de preprocesamiento, las imágenes adquiridas con la cámara web se filtran, banda por banda, con un filtro mediana de kernel 3 x 3. La imagen filtrada se convierte al espacio de color HSV y se asigna cero a la componente V en los píxeles cuyo valor sea menor al promedio sobre toda la imagen, como se presenta en la figura 5. Finalmente, las imágenes se regresan al espacio de color RGB y se corrigen geométricamente con el modelo interno de la cámara. Este modelo se encontró con la aplicación de calibración de Matlab, que se basa en los métodos de Heikkila y Silven (1997) y Zhang (2000).

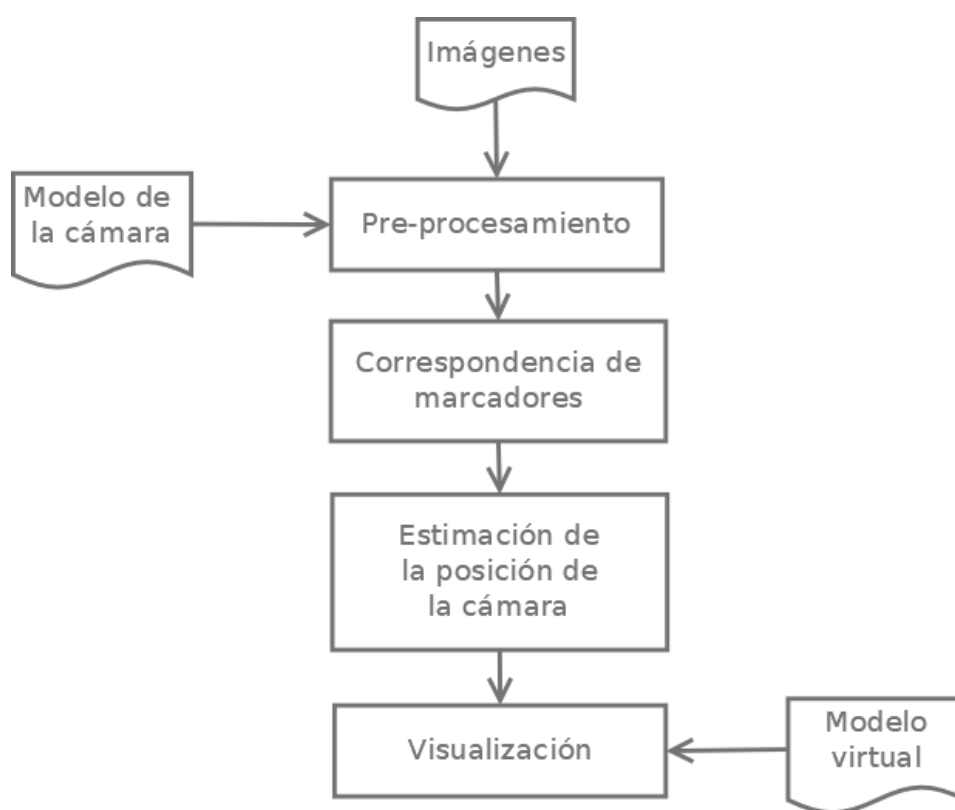


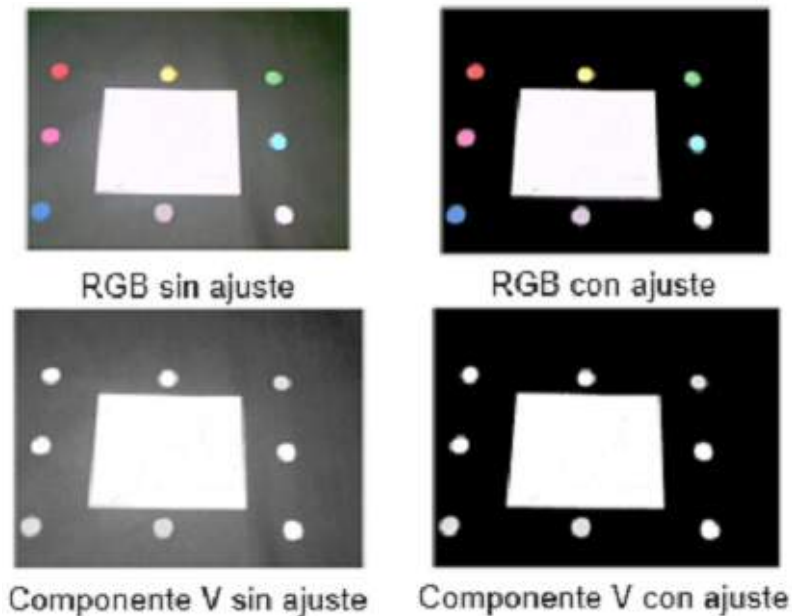
Figura 4. Diagrama de procesamientos del sistema
Fuente: elaboración propia.

En la etapa de correspondencia de marcadores, inicialmente, se realiza una detección de los marcadores y el plano cartográfico en la imagen corregida mediante una umbralización banda por banda. Luego, se caracteriza cada objeto detectado usando las componentes HSV promedio. Basado en estas características, un clasificador reconoce el color de cada marcador para asociar una coordenada geográfica a su centroide.



En el desarrollo del clasificador se utilizó una red neuronal tipo feed forward con tres nodos en su capa de entrada, 10 neuronas en la capa oculta con función de activación tangente sigmoideal y 8 neuronas en la capa de salida con función de activación lineal. Las características de entrada corresponden a los descriptores de cada marcador y las salidas a la asignación de color en la plantilla.

La estimación de la posición y orientación de la cámara, en el sistema de coordenadas de la plataforma, se realiza a través del método de Heikkila y Silven (1997) y Zhang (2000), y el modelo de la cámara de Pinhole, ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3.



$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{u}_i \\ \hat{v}_i \end{bmatrix} = \frac{f}{z_i} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} = T \left(\begin{bmatrix} \hat{u}_i \\ \hat{v}_i \end{bmatrix} \right) \quad (2-3)$$

Figura 5. Corrección de brillo
Fuente: elaboración propia.

Donde:

x_i, y_i, z_i : coordenadas del marcador i en el sistema coordenado de la cámara.

X_i, Y_i, Z_i : sistema coordenado de la plataforma experimental.

m : parámetros de rotación de la cámara respecto a la plataforma.

x_0, y_0, z_0 : origen de la plataforma en el sistema coordenado de la cámara.

\hat{u}_i, \hat{v}_i : proyección de un punto en el plano de la imagen.

f : punto focal.

u_i, v_i : coordenadas imagen del marcador i .

T : transformación que considera los parámetros intrínsecos de la cámara, como distancia focal, factor de escala, punto principal y coeficientes de distorsión.

Dadas las transformaciones entre los diferentes sistemas coordenados que intervienen en el proceso (cámara, plataforma e imagen), se estima la posición de la cámara (x_c, y_c, z_c) respecto al origen de visualización de la plataforma (ecuación 2.4) y se representa en la visualización de la superficie, dados un azimuth (θ_c) y una elevación (δ_c) (ecuaciones 2.5 y 2.6) asociados a la perspectiva de la cámara respecto a la cartografía visualizada, tal como se esquematiza en la figura 6.





$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

$$\theta_c = \tan^{-1} \left(\frac{z_c}{x_c} \right) \quad (2-5)$$

$$\delta_i = \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_c^2 + z_c^2}{y_c}} \quad (2-6)$$

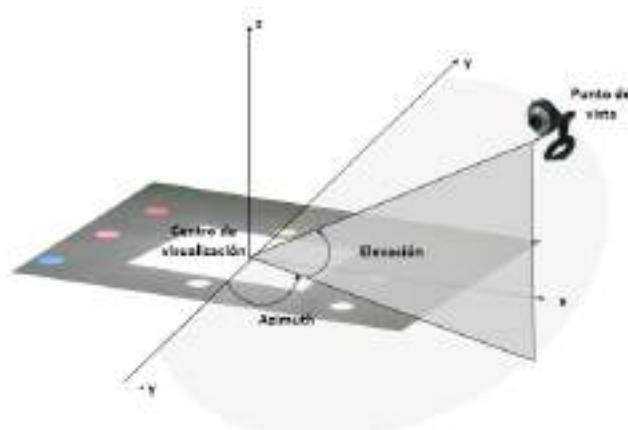


Figura 6. Posición de la cámara respecto a la plataforma experimental
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la etapa de visualización se complementa la interacción del usuario al permitirle la interpretación de la cartografía. Esto se logra mediante la proyección del modelo virtual de la superficie hacia la perspectiva estimada de la cámara. El modelo virtual se obtiene a partir de una ortofoto y una nube de puntos que representan la superficie georreferenciada y se fusionan usando el método de interpolación media móvil, asignando sus características con un mapa de color de baja resolución para evitar un elevado costo computacional. La figura 7 muestra un modelo virtual.

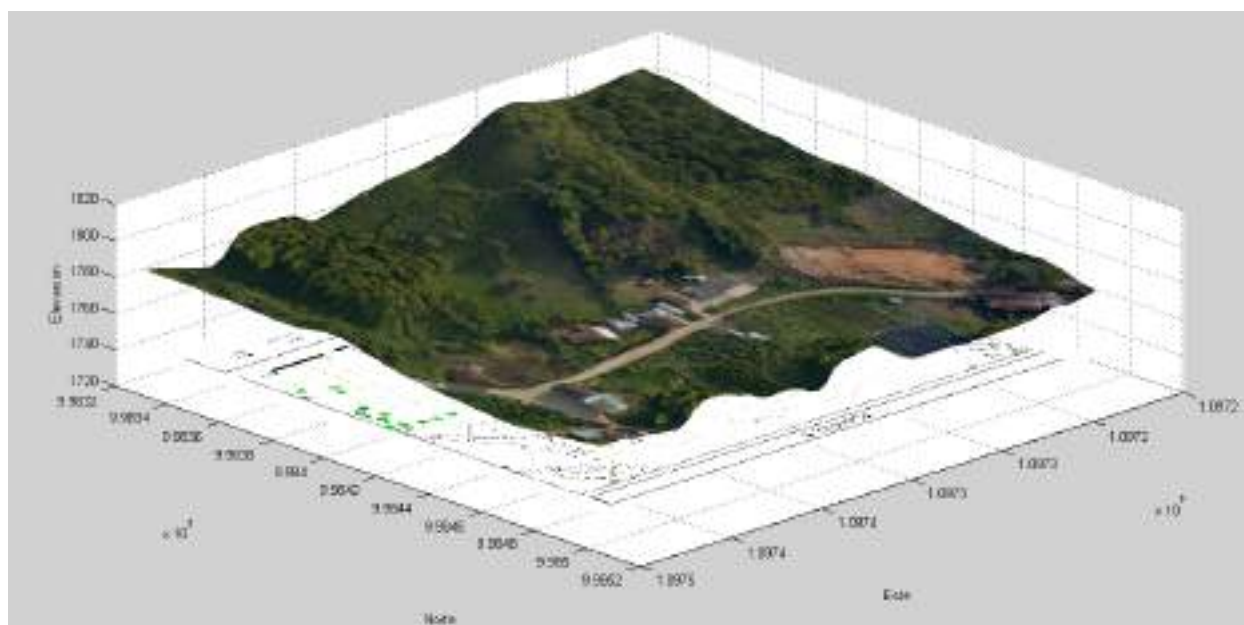


Figura 7. Modelo virtual
Fuente: elaboración propia.

Interfaz de usuario

La visualización del modelo virtual se realiza a través de una interfaz de usuario que permite interpretar la cartografía a partir de la reconstrucción de la superficie desde la posición estimada de la cámara. En la figura 8 se presenta la interfaz, que cuenta con tres modos de ejecución: estático, dinámico y en línea. El modo estático consiste en definir solo una captura desde la cual se desea visualizar la superficie; en el modo dinámico se adquiere un video que se procesa a través de la división por frames y genera como respuesta un video de superficie virtual insertada desde las diferentes perspectivas del usuario. Finalmente, la captura en línea se realiza de manera repetitiva cada cinco segundos hasta que se cumpla con el número total de capturas definidas por el usuario, tomando la perspectiva que se tenga en el momento y generando la visualización de la superficie virtual.

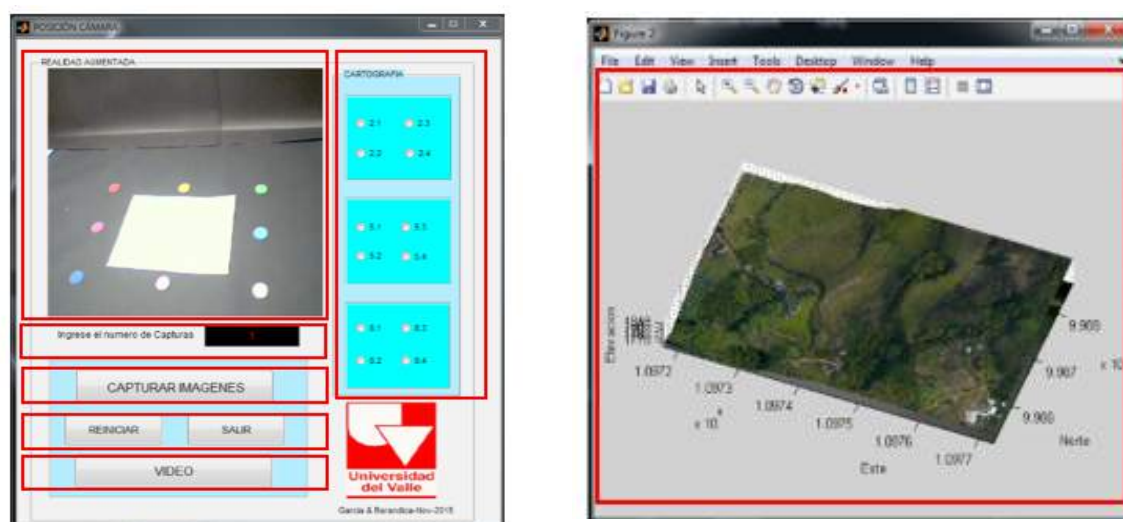


Figura 8. Interfaz de usuario desarrollada
Fuente: elaboración propia.

Resultados

Tradicionalmente, las convenciones utilizadas en las planchas para representar características geográficas presentes en un territorio son abstractas y no proporcionan abundante información sintáctica, por lo que debe ser interpretadas por personal capacitado; esto puede causar lecturas imprecisas debido a las condiciones psicofisiológicas (subjetividad, fatiga o agudeza visual, entre otros).

De otra parte, el sistema de realidad aumentada propuesto permite la visualización de un modelo cartográfico virtual enriquecido mediante la integración de nubes de puntos y ortofotos que aportan información de relieve, forma y color, representando de forma más natural el terreno y facilitando la interpretación de la plancha cartográfica.

Para evaluar el sistema de realidad aumentada, se realizaron pruebas de desempeño del clasificador de marcadores y del estimador de la posición de la cámara. Adicionalmente, se evaluó el tiempo de ejecución en cada modo de operación y la satisfacción de un grupo de veinte usuarios.



Desempeño del clasificador

Se evaluó el desempeño del clasificador implementado usando un data set compuesto por 21 imágenes capturadas en diferentes posiciones y condiciones de iluminación. Se seleccionaron los marcadores sobre las imágenes y se obtuvieron 22.175 muestras con su respectivo color. La figura 9 muestra las componentes H y S de las muestras del data set y su respectivo color.

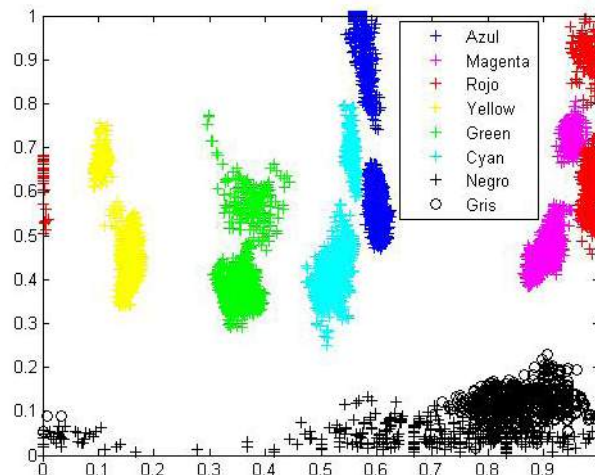


Figura 9. Distribución de la clasificación por redes neuronales
Fuente: elaboración propia.

Del data set creado, se seleccionan aleatoriamente los conjuntos de entrenamiento (70%), validación (15%) y prueba (15%). La red se entrenó seis veces. La matriz de confusión total de la red neuronal (figura 10) presenta un porcentaje de aciertos del 99,9%. El 0,1% restante corresponde a los marcadores con una clasificación errada del color debido al exceso o falta de iluminación, o ángulos de elevación muy bajos en la toma de las imágenes.

		Clases Objetivo								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Clases de Salida	1	3166 14,3%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	2	0 0,0%	2959 13,3%	1 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	3	0 0,0%	1 0,0%	2337 10,5%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	4	0 0,0%	0 0,0%	7 0,0%	2750 12,4%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	99,7%
	5	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2422 10,9%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	6	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2736 12,3%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	7	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	3265 14,7%	3 0,0%	99,9%
	8	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2 0,0%	2526 11,4%	100%
		100%	100%	99,7%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%
		0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%

Figura 10. Matriz de confusión total de la red neuronal
Fuente: elaboración propia.



El error promedio calculado entre los ángulos reales y los valores obtenidos al implementar la aplicación corresponden a 6° y 3,5° para azimuth y elevación respectivamente. Los ángulos 90° y 270° que se encuentran sobre el eje X, es decir, la línea que representa el este, presentan un error promedio igual, que corresponde a 8°. Por otra parte, los ángulos 0° y 180° sobre el eje Y, eje del norte, presentan un error promedio asociado de 4°.

El color blanco incide en los demás colores proporcionando un brillo adicional a la iluminación y afecta a los demás marcadores en el momento de captura, lo que puede ocasionar que los píxeles tengan información errónea; de igual manera, los datos que asocian el brillo al color gris también representan una fuente de error.

Desempeño estimación posición de la cámara

Se dispuso la cámara sobre un trípode con cuatro ángulos de azimuth. Los valores reales de elevación y azimuth se obtuvieron de mediciones clásicas y propiedades trigonométricas. Estos valores se compararon con los estimados utilizando las ecuaciones 2.3 y 2.4. La tabla 1 lista los errores asociados a cada combinación de posición y orientación.

Tabla 1. Errores en los ángulos representados

<i>Azimuth real</i>	<i>Error en azimuth calculado</i>	<i>Elevación real</i>	<i>Error en elevación calculado</i>
0°	3°	33,91°	4°
90°	8°		5°
180°	5°		1°
270°	8°		4°
Error promedio azimuth	6°	Error promedio elevación	3,5°

Fuente: elaboración propia.

Tiempo de ejecución por modo de captura

La tabla 2 muestra el tiempo promedio, en segundos, que toma el sistema para procesar una imagen en cada modo de ejecución. El mayor tiempo se encuentra asociado al modo de ejecución en línea, puesto que el sistema se encuentra en funcionamiento constante, contrario al modo en línea, donde se proyecta el modelo virtual desde una sola perspectiva.

Tabla 2. Resultados de tiempo de la ejecución del sistema en segundos

<i>Modo de operación</i>	<i>Estático</i>	<i>Dinámico</i>	<i>En línea</i>
<i>Tiempo por imagen</i>	1,5	11	14

Fuente: elaboración propia.





Experiencia del usuario

Se evaluó la experiencia de 20 usuarios. El 65% de estos tiene formación relacionada con las ciencias de la Tierra, la cartografía, la topografía, los sistemas de información geográfica e infraestructuras de datos espaciales. El 35% restante tiene formación en ciencias de la computación. Cada usuario diligenció el formato de la figura 11 y calificó de 1 a 5 cada atributo, donde 1 equivale a malo y 5 a excelente, para cada modo de ejecución.

FORMATO DE EVALUACIÓN PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES VIRTUALES				
ATRIBUTO		ESTÁTICA	DINÁMICA	EN LÍNEA
1	Tiempo de Ejecución.			
2	Luminosidad requerida.			
3	Posición de Cámara y Plano.			
4	Velocidad de Procesamiento.			
5	Apariencia visual Interfaz.			
6	Estabilidad del seguimiento.	N/A		
7	Precisión en unión con el plano.			
8	Posibilidad de interacción con el resultado.		N/A	
9	Sensibilidad al movimiento (Cámara y plano).	N/A		
10	Primera impresión visual y plano.			
TOTAL				

Figura 11. Formato de evaluación para la visualización de las superficies virtuales
Fuente: elaboración propia.

El compendio de resultados obtenidos se muestra en la tabla 3, donde se presentan los mejores puntajes para el modo de ejecución estático. Este valor satisfactorio del 91,48% promedio se relaciona con el bajo costo computacional que arraiga este modo de ejecución, lo que conlleva al usuario a obtener una realimentación más oportuna del modelo virtual. El modo de ejecución dinámico presentó el porcentaje de satisfacción más bajo, puesto que en la evaluación del tiempo de ejecución por parte de los usuarios presento valores bajos, del 57,78%; de igual manera, se relacionó que no se presenta buena estabilidad de seguimiento debido a los cambios bruscos la adquisición del video. La función en línea obtuvo un valor promedio de satisfacción de 85,90%. Se establece que los valores evaluados que disminuyen el desempeño de la aplicación en este modo son el tiempo de ejecución, la estabilidad del seguimiento y la sensibilidad al movimiento, puesto que se debe ser más preciso a la hora de capturar las imágenes, teniendo la precaución de capturar la plantilla de marcadores.

Tabla 3. Resultados de tiempo de la ejecución del sistema en segundos

Modo de operación	Estático	Dinámico	En línea
Estadístico			
Promedio	91,48	81,52	85,90
Mínimo	72,50	57,78	68,00
Máximo	100,00	97,70	100,00
Desviación estándar	8,78	9,25	9,23
Mediana	95,00	80,00	87,00

Fuente: elaboración propia.



Conclusiones

Se diseñó un sistema para la visualización georreferenciada en planos topográficos de ortofotos fusionadas con nubes de puntos mediante técnicas de realidad aumentada como componente interactivo de los entornos geográficos virtuales, que facilita la interpretación de la plancha cartográfica.

El sistema desarrollado permite visualizar un modelo cartográfico virtual enriquecido mediante la integración de nubes de puntos y ortofotos que aportan información de relieve, forma y color, representando de forma más natural el terreno.

La interfaz de usuario cuenta con tres modos de ejecución: estático, dinámico y en línea. Los modos de ejecución obtuvieron un porcentaje de satisfacción entre usuarios de 91,48 %, 81,52% y 85,9% respectivamente.

El sistema no requiere de hardware especializado y alcanza a visualizar un modelo virtual fusionado en menos de 15 segundos en el modo de operación en línea, que es el de mayor costo computacional.

La interfaz tiene como restricción que los ocho marcadores de color aparezcan simultáneamente en las imágenes capturadas para estimar los parámetros de perspectiva y obtener una adecuada visualización del modelo virtual por parte del usuario.

Como trabajo futuro, se plantea utilizar descriptores locales de puntos característicos propios de la cartografía para evitar el uso de marcadores de colores artificiales y ampliar el rango de direcciones y posiciones de observación, así como la implementación del sistema en dispositivos móviles que brindarían mayor portabilidad a la herramienta.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado en el Laboratorio de Visión Artificial de la Universidad del Valle en Colombia. Los autores agradecen al grupo de investigación Percepción y Sistemas Inteligentes (PSI).





Bibliografía

- Ruiz, A., Urdiales, C., Fernández-Ruiz, J. A. & Sandoval, F. (2004). *Ideación arquitectónica asistida mediante realidad aumentada*. Ponencia presentada en las XIV Jornadas Telecom I+D, Madrid, España, 23-25 de noviembre. Recuperado de <http://www.ugr.es/~jafruiz/ideacion%20asistida%20realidad%20aumentada.pdf>.
- Callejas, M., Quiroga, J. & Alarcón, A. (2011). Interactive environment for tourist sites, implementing augmented. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 1-12.
- Coelho, A. H. & Bähr, H.-P. (2005). Visualização de dados de CAD e LIDAR por meio de realidade aumentada. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 2925-2932.
- Fonseca, D., Martí, N., Redondo, E., Navarro, I. & Sánchez, A. (2014). Relationship between student profile, tool use, participation and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models. *Computers in Human Behavior*, 31, 434-445. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2013.03.006>.
- Heikkilä, J. & Silvén, O. (1997). A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction. In *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
- Klinker, G., Stricker, D. & Reiners, D. (2001). Augmented Reality for Exterior Construction Applications. En W. Barfield & T. Caudell (eds.), *Augmented Reality and Wearable Computers*, pp. 379-428. Londres: Lawrence Erlbaum Press.
- Lara, L. & Villarreal, J.L. (2004). La realidad aumentada: una tecnología en espera de usuarios. *Revista Digital Universitaria*, 5(7), 1-9. Available at: http://www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art48/jun_art48.pdf.
- Leguizamón, M. A., Gaviria, J. & Rodríguez, C. (2012). Sistema georreferenciado de realidad aumentada con dispositivos móviles para la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Vínculos*, 9(2), 147-154.
- Liu, K. & Hao, W. (2010). The Ontology of Virtual Geographical Environment. In *Geoinformatics, 2010 18th International Conference*, pp. 1-6.
- Malbos, A. N. A., Rochadel, W., De Lima, J. P. C. & Da Silva, J. B. (2014). Aplicação da Realidade Aumentada para simulação de experimentos físicos em dispositivos móveis. En *2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, (pp. 231-235). Porto, Portugal: IEEE. doi: 10.1109/REV.2014.6784263.
- Nájera Gutiérrez, G. (2009). *Realidad aumentada en interfaces hombre máquina*. México: Instituto Politécnico Nacional.



- Olalde, K., García, B. & Seco, A. (2013). The Importance of Geometry Combined with New Techniques for Augmented Reality. *Procedia Computer Science*, 25, 136-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.017>.
- Ortiz Rangel, C. E. (2011). Realidad aumentada en medicina. *Revista Colombiana de Cardiología*, 11(7), 4-7.
- Silva, F. & Silva, J. (2012). A realidade aumentada em smartphones na exploração de informações estatísticas e cartográficas. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 18(2), 282-301.
- Uceda, S. (2014). *Uso de la realidad aumentada para facilitar la lectura e interpretación de planos* (tesis de grado). Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU). Recuperado de <https://addi.ehu.es/handle/10810/13618>.
- Wilches, D. & Figueroa, P. (2011). *Visualización de información urbana georreferenciada por medio de realidad aumentada*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11), 1330-1334. doi: 10.1109/34.888718.





Territorios posibles e inteligencia territorial: una fórmula entre la gente, la ciencia y las políticas públicas. Casos en Argentina y Colombia

Potential territories and terrestrial intelligence: a formula between people, science and public policies. Cases in Argentina and Colombia.

Horacio R. Bozzano¹

Resumen

El objetivo de este trabajo es poner a consideración una sencilla fórmula entre la gente y las políticas públicas, mediante una propuesta científica de territorios posibles e inteligencia territorial, con metodologías de investigación-acción-participativa, I-A-P, aplicadas a dos casos en Argentina (Puente de Fierro, La Plata, industria y entorno de Ensenada-Berisso-La Plata) y uno en Colombia (provincia Lengupá, Boyacá). El propósito es verificar si su ejemplaridad en escalas locales y subregionales es válida en el replique de otras iniciativas (cada una con sus particularidades) en distintos lugares del mundo, especialmente de Latinoamérica, África y Asia, donde las problemáticas sociales y ambientales están adquiriendo mayor gravedad. Los territorios posibles permiten construir sociedades espacial y temporalmente habilitadas. En una sociedad espaciotemporalmente habilitada se verifica la justicia territorial.

La justicia territorial integra, combina, articula e interpenetra cinco tipos de justicia: cognitiva, social, ambiental, económica y pública. Es más posible construir justicia territorial en micro y meso escalas espaciotemporales que en macroescalas. Si estas iniciativas son acompañadas por niveles decisorios en nuestras instituciones, la ejemplaridad y la replicabilidad pueden encargarse de lo sucesivo. Sin embargo, articular teoría y praxis para construir territorios posibles con inteligencia territorial es un arduo tiempo de trabajo conjunto desde el inicio de cada proceso con comunidades, instituciones y empresas. Se concluye con cuatro hipótesis.

Palabras clave: territorios posibles, inteligencia territorial, gobernanza integrada, investigación-acción participativa, agenda científica, transformación.

1. Doctor en Geografía, Ordenamiento Territorial y Urbanismo. Université de la Sorbonne Nouvelle Paris III. Investigador Principal del CONICET en TAG, IdIHCS UNLP-Conicet, La Plata, Argentina. Correo: bozzano59@gmail.com.





Abstract

The objective is to put into consideration a simple formula between people and public policies through a scientific proposal of Possible Territories and Territorial Intelligence with Research-Action-Participatory methodologies applied to two cases in Argentina (Puente de Fierro, La Plata, industry and Ensenada-Berisso-La Plata surroundings) and one in Colombia (Lengupá Province, Boyacá) to verify if its exemplarity at local and subregional scales is valid to replicate other initiatives (each with its own particularities) in different parts of the world, especially in Latin America, Africa and Asia, where social and environmental problems are becoming more serious. It is about executing other public policies: real integrated public governances in neighborhoods, cities, rural worlds, metropolis and regions. Scientific Agendas with Territorial Intelligence build Possible Territories. Possible Territories allow the construction of spatially and temporarily enabled societies. In a space-temporarily enabled society, Territorial Justice is verified.

The Territorial Justice combines and articulates cognitive justice, social justice, environmental justice, economic justice and public justice. It is more likely to construct Territorial Justice in micro and meso space-time scales than in macro-scales. If these initiatives are accompanied by decision-making levels in our institutions, the exemplarity and replicability can be dealt with in the future. With the contributions of authors like M. Santos, O. Fals Borda, E. O. Wright, J. J. Girardot, B. de Sousa Santos, O. Madoery, M. H. Botero and many others it is possible to theorize it. However, articulating theory and praxis to build possible territories with territorial intelligence is a hard work together, from the beginning of each process with communities, institutions and companies. It concludes with four hypotheses.

Keywords: *possible territories, territorial intelligence, integrated public governance, research-action-participatory, transformation.*





Introducción²

¿Qué significa construir sociedad espacialmente habilitada? ¿Qué relación tiene esta pregunta con el título del este trabajo? Se intenta responder parcialmente a sendos interrogantes tanto con planteos teóricos y epistémicos de *territorios posibles e inteligencia territorial*, como mediante su aplicación a unas iniciativas en marcha en Argentina (Puente de Fierro, La Plata y Ensenada-Berisso) y Colombia (Lengupá, Boyacá). Se comunica cómo, con éxitos, inercias y dificultades, estamos construyendo respuestas en relación con la co-construcción de sociedades espacial y temporalmente habilitadas para que prevalezcan la inteligencia y la justicia territorial sobre las desinteligencias e injusticias territoriales.

La humanidad atraviesa una difícil encrucijada para el próximo siglo. Consideramos —en sentido figurado— que el tiempo desde el origen del universo hasta el día de hoy es una especie de camino del inca, a pie, de un espacio-tiempo, a través de nuestra Sudamérica, entre Tierra del Fuego (equivalente al origen del universo) y el Chocó colombiano (equivalente a nuestro presente). En ese caso, la Tierra habría nacido recién en algún lugar de la selva amazónica entre Perú y Brasil, muy próximo a Colombia, mientras que el hombre habría nacido en el Chocó, próximo al mítico Tapón del Darién. Nuestro próximo siglo como especie humana representa solo un paso en ese camino. Sin embargo, la ciencia está afirmando que el universo estaría llegando al menos hasta Alaska.

Vale decir que, dependiendo de los procesos sociales que venimos desencadenando o, —más bien— dejando espacio-tiempo para que estos se desencadenen, podemos olvidar los procesos naturales que con otros relojes vienen marcando el pulso de nuestro planeta desde hace unos 4500 millones de años. El planeta, con o sin nosotros, seguirá sus procesos y sus tiempos, mientras que la humanidad está acelerando unos procesos de destrucción en detrimento de otros procesos más virtuosos. El futuro de la humanidad no depende solo de los poderes políticos y económicos, sino también de los otros dos actores implicados en los procesos con inteligencia territorial: los poderes comunitarios y los cognitivos. Como si esto fuera poco, los poderes y procesos de la naturaleza continúan enviando señales que, como civilización, nos cuesta calibrar en su justa dimensión. Los territorios posibles están en nosotros, no en los otros.

Para que los territorios sean posibles, las teorías que estamos desarrollando los científicos en los cinco continentes deben imbuirse en mayor medida de investigación-acción, I-A-P. Podría citarse como I-A-P, por ejemplo, los planteamientos de O. Fals Borda, y de categorías de análisis más propias de teorías de la transformación (por ejemplo, E. O. Wright y B. de Sousa Santos, entre otros), en lugar de apoyarse en teorías del *statu quo* o de teorías críticas. De lo contrario, estaremos ante la triste certidumbre de que nuestras teorías continuarán perdiendo eficacia en las próximas décadas. Si es en alguna medida cierto que deberíamos abandonar la Tierra en cien años —según afirma Stephen Hawking—, ¿por qué desde el mundo científico no estamos haciendo lo suficiente para revertir esta afirmación? Estamos eligiendo una postura más cómoda de sentarnos a reflexionar. ¿qué más podemos hacer, además de teorizar?: hacer algo concreto, efectivo y con mayor coherencia entre nuestros discursos y nuestras acciones.

2. El presente texto es parte de una conferencia pronunciada en Bogotá el 11 de octubre del 2017 en ocasión de la XVI Conferencia Internacional INTI Network y del Primer Encuentro Latinoamericano de Territorios Posibles, ambos eventos coorganizados por las universidades del Rosario, Distrital Francisco José de Caldas y Nacional de Colombia, la INTI Network y la Red Científica Solidaria Latinoamericana TAG Territorios Posibles..





Las *Agendas Científicas Participativas* co-construidas en el marco de las institucionalidades actuales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet), constituyen en nuestro colectivo de trabajo, TAG Territorios Posibles, la herramienta más útil y poderosa para descender de nuestros ideales teóricos a la cruda realidad que trabajamos cada día en lugares vulnerados social y ambientalmente.

Los *territorios posibles* se construyen con *inteligencia territorial*. Permiten construir sociedades espacial y temporalmente habilitadas. Una sociedad espacial y temporalmente habilitada es aquella donde se verifica la justicia territorial. Esta es aquella que combina, integra, articula e integra cinco tipos de justicia: cognitiva, social, ambiental, económica y pública (Bozzano, 2016). Es mas probable construir justicia territorial en micro y meso escalas espaciotemporales, que en macroescalas. Si estas iniciativas son acompañadas por niveles decisionales, como lo intentan hacer el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, y muchas otras instituciones, la ejemplaridad y la replicabilidad pueden encargarse de lo sucesivo. Sin embargo, en nuestro planeta dominan injusticias territoriales, desinteligencias territoriales y por ende los territorios son cada vez más imposibles. Revertir estas tendencias es arduo. Pero soñar con utopías nos ayudará a producir teorías y praxis de la transformación desde la *ciencia con la gente* para contribuir a ejecutar otras políticas públicas más próximas a una gobernanza integrada que a prácticas donde los estilos de gestión *top-down* prevalecen sobre los estilos *bottom-up*.

Con aportes de autores como Milton Santos (1996, 2000), Orlando Fals Borda (1986, 2009), Erik Olin Wright (2009, 2015), Jean-Jacques Girardot (2004, 2009, 2012), Paulo Freire (1996), Boaventura de Sousa Santos (2009), Martín-Barbero (2003) y Oscar Madoery (2007, 2016), entre muchísimos otros, es posible teorizar acerca de los territorios posibles. La articulación de teoría y praxis, incorporando en cada investigador rigor, sistematicidad, altruismo, compromiso y honestidad intelectual, contribuirá a producir unas geografías donde el poder de nuestro amor prevalezca sobre el poder de nuestras miserias. Sin embargo nunca será un quehacer individual, habida cuenta que supone un complejo y arduo tiempo de trabajo conjunto desde el inicio de cada proceso con comunidades, instituciones y empresas

En relación con los casos en Colombia y Argentina, incluidos en este texto, hace alrededor de tres años nos conocimos, en Bogotá, con la Asociación Civil (sin fines de lucro) *Tejiendo OSC*, de la provincia de Lengupá, un lugar poco conocido por los colombianos en el departamento de Boyacá. En menos de dos años, los avances en Lengupá han sido muy valiosos, gracias al trabajo conjunto en territorios posibles con inteligencia territorial que vienen realizando Tejiendo OSC, numerosas organizaciones de productores y otras asociaciones culturales, sociales y ambientales junto al grupo de IAP, investigación-acción participativa (Fals Borda, 1986), del Centro de Estudios Urbanos y Sociales (CEUS) de la Universidad del Rosario, dirigido por la Dra. María Helena Botero, como se expone más adelante. Casi en simultáneo, en Argentina, hace poco más de cuatro años comenzamos otro proceso con muchas semejanzas al de Lengupá, en algunos sitios de nuestra aglomeración urbana: el Gran La Plata (La Plata, Ensenada y Berisso), luego de la más trágica inundación de nuestra historia: el Proyecto de Investigación Orientado “Gestión Integral del Territorio” de la UNLP y el Conicet³.

3. Proyecto PIO UNLP Conicet 2014-2016, *Estrategias para la Gestión Integral del Territorio. Vulnerabilidades y Procesos de Intervención y Transformación con Inteligencia Territorial. Métodos y técnicas científicas ambientales, sociales y espaciales: Dos casos en el Gran La Plata*. Código del proyecto: 13420130100005CO. Director: Dr. Horacio Bozzano, codirector: Dr. Jorge Sambeth, coordinador: Dr. Guillermo Banzato (Fase 1) y Lic. Tomas Canevari (Fase 2). Participaron más de cincuenta investigadores, profesores y tesisistas de la UNLP, Conicet y CIC de las Ciencias Exactas, Sociales y Naturales. En 2014, firmaron su aval 31 instituciones públicas y organizaciones intermedias. Entre 2015 y 2017, se sumaron más instituciones y organizaciones. En 2015, el PIO se sumó al OMLP Observatorio Medioambiental La Plata dependiente de la UNLP, el CONICET y la CIPBA.





Desde 2016 con el PIO tenemos, además de inercias y conflictos, muchos éxitos para las comunidades y el ambiente. Habiendo identificado en 2015, 30 temas de intervención ejecutables con Agendas Científicas Participativas, finalmente a inicios de 2016 seleccionamos en el PIO tres de alta replicabilidad e impacto en América Latina, también en África y Asia: Territorios Posibles en las Urbanizaciones Informales (1), en la Industria en relación con su Ambiente y su Territorio (2) y en la Suburbanización no Informal (3). Estamos ejecutando, desde Mayo de 2016, los dos primeros con una metodología científica innovadora en América Latina que combina IAP con Inteligencia Territorial, desde la perspectiva de los Territorios Posibles. A fines de 2016 con Tomás Canevari y otros compañeros de nuestra Red Territorios Posibles enunciamos una fórmula entre la Gente, la Ciencia y las Políticas Públicas. Esta fórmula sencilla es resultado acumulativo de ensayos y errores en más de noventa investigaciones durante tres décadas en el marco de la IAP desde nuestro lugar como servidores públicos en la UNLP y el Conicet.

El objetivo de este trabajo es poner a consideración una sencilla fórmula entre la gente y las políticas públicas, mediante una propuesta científica de Territorios Posibles con Inteligencia Territorial ejecutable con metodologías de investigación-acción participativa aplicadas a dos casos en Argentina y uno en Colombia. El propósito es verificar si su ejemplaridad en la escala local y subregional es válida para replicar iniciativas —cada una con sus particularidades— en distintos lugares del mundo, particularmente de América Latina, África y Asia, continentes donde las problemáticas sociales, ambientales y cognitivas están adquiriendo mayor gravedad.

El texto se organiza en cinco partes. La primera plantea la perspectiva teórico-metodológica de la Inteligencia Territorial, conocida más de dos décadas después que la perspectiva propia. La segunda parte presenta la perspectiva teórico-metodológica propia de los Territorios Posibles complementaria de la primera. La tercera parte refiere al proceso mencionado en Argentina, del cual derivaron dos casos en plena ejecución. La cuarta introduce al caso en Colombia. La quinta parte concluye con cuatro hipótesis que procuran resumir más de tres décadas de investigación-acción participativa y algunas preguntas acerca de lo que la vida vaya deparando con tantos aprendizajes científicos teórico-prácticos por un mundo mejor en los numerosos procesos en marcha; no solo estos tres.

La Inteligencia Territorial

Breve historia de la Inteligencia Territorial. Jean-Jacques Girardot, creador de la Inteligencia Territorial, reconoce seis hitos que jalonan la creación y el desarrollo de la inteligencia territorial (Girardot, 2012, pp. 30-37). A continuación los mencionamos.

El método Catalyse: prehistoria de la inteligencia territorial. En Europa, la Inteligencia Territorial se ha definido de forma progresiva, a partir de 1989, en el marco de las iniciativas sobre alternativas de desarrollo territorial en los que los Observatorios Catalyse constituían las herramientas. Como la “acción concertada” *Mosaïque* (1989-1993), estas iniciativas estaban a menudo conducidas por actores locales multisectoriales en territorios duramente afectados por la crisis que comenzó con el primer *shock* petrolero de 1973, y que no ha dejado de intensificarse desde entonces.

Catalyse pretende asociar a todos los actores mediante la concepción y realización de un proyecto de desarrollo común de forma transparente y racional. Es la herramienta para los socios del desarrollo, entre ellos, actores públicos, privados y asociativos, pertenecientes





al conjunto de los sectores de actividad de un territorio. Catalyse promovía un proceso participativo que favorecía compartir información, la colaboración en el análisis de la situación y en la elaboración de proyectos, y la cooperación en la acción.

Inteligencia territorial, enfoque científico multidisciplinario y participativo. Los observatorios Catalyse han constituido la base del concepto de inteligencia territorial que se propuso en 1998, con el objetivo de instaurar un enfoque científico fundamentado en el análisis de las acciones concertadas e iniciativas similares. La experiencia de Catalyse y el proyecto científico de inteligencia territorial han heredado una tradición de investigación multidisciplinar en ciencias humanas y sociales en la Universidad de Franche-Comté desde los años sesenta. El enfoque participativo de la Inteligencia Territorial manifestaba la preocupación por evitar un uso burocrático de los conocimientos científicos y tecnológicos en contra de la participación y la cooperación de los actores. Por el contrario, entendía que las tecnologías de la información y de la comunicación permitían mejorar la participación de los actores y, sobre todo, de los ciudadanos. Pretendía, de forma más global, ponerlas al servicio del desarrollo sostenible (Girardot, 2004) y de una gobernanza “lateral” (Rifkin, 2012).

Inteligencia territorial: un enfoque polidisciplinario. La Inteligencia Territorial es un concepto que, parafraseando a Edgar Morin, denominamos *polidisciplinario* en el sentido de que requiere un enfoque multidisciplinario capaz de entender un objeto complejo. En el caso de la Inteligencia Territorial, ésta se refiere a dos objetos: el territorio y la inteligencia. Estos requieren, por lo menos, la cooperación dentro de las ciencias del territorio, las ciencias humanas y sociales, las neurociencias y las ciencias de la información y de la comunicación. La red de investigación ENTI, *European Network of Territorial Intelligence*, se reestructura para hacer un proyecto de investigación europea. En el curso de los años siguientes la inteligencia territorial se ha enriquecido de las ciencias económicas, la geografía, las ciencias y tecnologías de información y comunicación, y el *knowledge management*.

Inteligencia territorial orientada hacia el desarrollo sostenible. La ENTI finalmente ha redefinido la inteligencia territorial como la “ciencia que persigue el desarrollo sostenible de los territorios y cuyo sujeto es la comunidad territorial” (Girardot, 2009). El término ciencia no tiene otra pretensión que designar un proceso fundado conjuntamente en el estudio y la práctica, una investigación-acción. Sus dos objetos, científico y práctico, se enriquecen mutuamente para: a) constituir el campo polidisciplinario de conocimientos universales sobre las estructuras y las dinámicas de los territorios en una perspectiva de desarrollo sostenible; y b) proponer a las redes de actores un proceso cognitivo y de co-construcción de una inteligencia colectiva para que, con y a través de la comunidad territorial, se desarrolle su territorio de forma sostenible. La referencia al desarrollo sostenible tiene el propósito de distinguir la inteligencia territorial de la inteligencia económica y del concepto anglosajón de desarrollo comunitario.

El nacimiento de una cooperación científica con América latina. Escribe J.J. Girardot: “durante una Conferencia Internacional sobre Inteligencia Territorial en 2007 en Huelva, España, conocí a muchas personas de Argentina, Uruguay y otros países latinoamericanos. Inmediatamente vimos que tanto nuestras orientaciones en investigación, como nuestras prácticas eran muy cercanas. La Inteligencia Territorial desarrollada por la ENTI y la concepción territorial de la Red Latinoamericana TAG Territorios Posibles compartían un enfoque científico multidisciplinar. Ambas alimentaban iniciativas locales fundadas en la participación de las personas y la cooperación de los actores. Las dos redes tenían la





particularidad de implicar investigadores y actores, en la producción de conocimiento y en la acción.” TAG, Territorios, Actores y Gobernanza, ha participado en dos propuestas: una, al proyecto del 7º Programa-Marco Europeo de Investigación, en 2010 y 2011; y otra, al proyecto del Grupo de Investigación *International Network of Territorial Intelligence*. El GDRI INTI ha tenido una excelente evaluación internacional y ha comenzado en Enero 2011.

Definición concreta de una agenda global de transición socio-ecológica para impulsar agendas locales participativas. Desde 2011, la INTI, *International Network of Territorial Intelligence*, conduce un proyecto de investigación concertada que pretende elaborar un modelo alternativo de desarrollo guiado por el bienestar de cada individuo y de todos. También busca una agenda de transición socio-ecológica, así como su traducción concreta en términos de agenda global de transición. Asimismo, se examina lo que la agenda de investigación requiere en este programa, la realización de diagnósticos de resiliencia de los territorios y la programación participativa de agendas territoriales.

La Inteligencia Territorial según su creador.

Jean-Jacques Girardot escribe:

La Inteligencia Territorial es el proyecto científico “polidisciplinario” que tiene por objeto el desarrollo sostenible y por sujeto a la comunidad territorial. Se basa en una visión sistémica del territorio, incluido un espacio geográfico, una comunidad, sus representaciones y sus comportamientos. Concede importancia al nivel local en una lógica interescalar, de lo local a lo global. Es una inteligencia colectiva que se basa por un lado en la interacción entre cada ser humano y su medio ambiente y, en segundo lugar, la relación entre las personas. [...] La gobernanza territorial puede ampliar o restringir la participación, el equilibrio entre cooperación y competencia, el bienestar equitativo y sostenible de los recursos y el empoderamiento de cada uno y todos. Como herramienta de gobernanza, la observación debe permitir —con la ayuda de la ciencia para compartir información y conocimientos— el acceso sostenible a la información y la co-construcción de la resiliencia y del desarrollo sostenible de los territorios. (MEC-IDL-INTI-CLAEH; 2014:4)

La Inteligencia Territorial y los Territorios Posibles. En 2009 ambas perspectivas se unen institucionalmente en dos redes: ENTi y TAG.⁴ En 2010, en pleno desarrollo de la red europea ENTi y la latinoamericana TAG Territorios Posibles, el CNRS, *Centre National de la Recherche Scientifique de Francia* promueve la creación del GDRI: *el Groupe de Recherche International*, de la INTI, *International Network of Territorial Intelligence*. Luego de un minucioso proceso de evaluación científica internacional en grupos de investigación de cuatro continentes, son seleccionados ocho grupos de investigación de universidades pertenecientes a cinco países: Francia, España, Bélgica, Italia y Argentina. Se trata de la Université de Franche-Comté (Francia), coordinadora del GDRI INTI, la Université de Bourgogne (Francia), la Université de Technologie Belfort-Montbéliard (Francia), la Université de Rennes 2 (Francia), la Universidad de Huelva (España), la Université de Liège (Bélgica), la Università degli Studi di Salerno (Italia), la Universidad Nacional de La Plata (Argentina), el Centre National de la Recherche Scientifique (Francia) promotor del GDRI, el FNRS, *Fonds de la Recherche Scientifique* (Bélgica) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet) (Argentina).

4. Convenio suscripto entre el presidente de la Universidad Nacional de La Plata, Dr. Fernando Tauber, y el coordinador de la European Network of Territorial Intelligence (ENTi), Dr. Jean-Jacques Girardot.



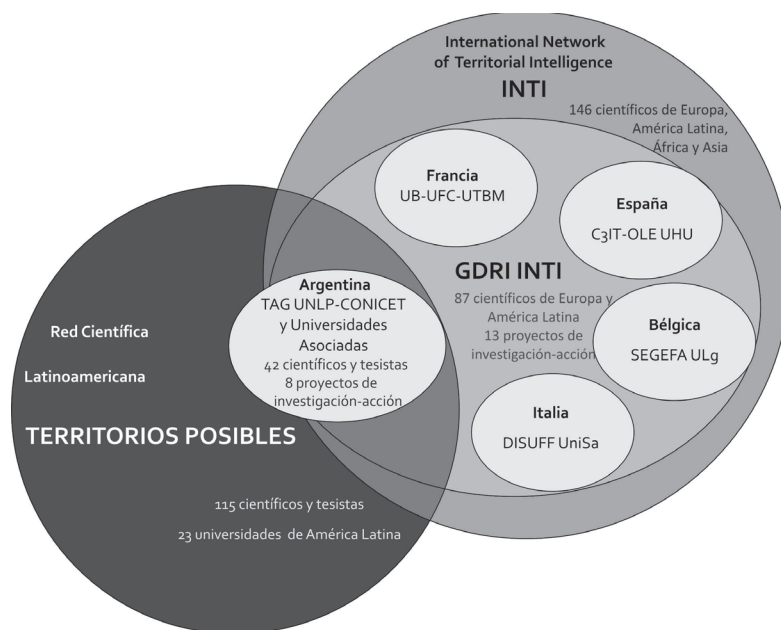


Figura 1. Las Redes INTI y Territorios Posibles en 2012. En la actualidad, 2017, el número de universidades e investigadores participantes se ha incrementado

Fuente: Concepción: Jean-Jacques Girardot (UFC) y Horacio Bozzano (UNLP). Diseño: Marisol Vedia (UNSJ) En: Bozzano, Girardot, Cirio, Barrionuevo y Gliemmo (2012)

Pilares de la Inteligencia Territorial latinoamericana. Compartimos en TAG *Territorios Posibles*, con la red madre ENTI, los mismos principios de una ciencia que trabaje por sociedades y ambientes vulnerables. El gran valor de *INTI Network* radica en que en cada continente trabajamos manteniendo cada uno nuestra propia identidad, respetuoso de los procesos sociales particulares. Mientras en Europa el pilar central es la transición socio-ecológica, en Latinoamérica se trata de la *transformación* en el marco de procesos de *gobernanzas integradas*.

Breve evolución de la Inteligencia Territorial en América Latina. En sus inicios⁵ en 2009, definíamos la inteligencia territorial como

...el proceso basado en el entendimiento y el *savoir-faire* necesario para articular conocimiento y experiencia en la resolución de problemas, con la co-participación de profesionales científico-académicos y de actores territoriales, del Estado, el empresariado y la ciudadanía, en condiciones de dimensionar y calibrar la naturaleza del problema real que será estructurante para el desarrollo de cada proyecto, de acotar su objeto de estudio y/o de intervención, de precisar la metodología de investigación y sus herramientas, a la vez que de sistematizar los resultados de dicha interacción. (Bozzano, 2009, p. 96).

En 2012 la IT se define, en TAG IdIHCS UNLP-Conicet y Universidades asociadas, a partir de la integración de tres cuestiones: (1) "Inteligencia territorial es la disciplina que tiene por objeto el desarrollo sostenible de los territorios y que tiene por sujeto a la comunidad territorial" (Girardot, 2009), coincidiendo con esta definición preferentemente europea. Planteándola nosotros como campo científico multidisciplinar, en tren de convertirse

5. La Red Científica Solidaria Latinoamericana TAG Territorios Posibles de Inteligencia y Justicia Territorial nació con el Seminario Internacional Problemas y Aprendizajes en la Formulación y el Desarrollo de Proyectos, realizado entre mayo y noviembre del 2009 en la Universidad Nacional de La Plata. TAG es el Programa de Investigación Territorio, Actores y Gobernanza para la Transformación, del CHAyA, con sede en el Instituto de Investigaciones IdIHCS UNLP-Conicet, el instituto de ciencias sociales más grande de la Argentina.



en disciplina, adicionamos dos cuestiones propias del quehacer en investigación, intervención y transformación en territorio con actores en América Latina. Por una parte, el objeto de la inteligencia territorial es (2) un triple proceso simultáneo de co-construcción de personas en sujetos, de espacios en territorios y de ideas en proyectos, y (3) apunta a trabajar por identidades, necesidades y sueños, no solo expectativas.

Nuestra perspectiva de IT comprende objetos no solo de estudio o investigación básica y de intervención, sino objetos de transformación. En este contexto, en la IT no podemos prefigurar intervenciones para satisfacer solamente necesidades materiales de la población, porque todas las personas por igual, además de necesidades básicas, tenemos, identidades y sueños. Tampoco la IT promueve objetos de intervención tradicionales, entendidos como aquellos donde la intervención es *top-down* o, donde siendo *bottom-up*, no logra finalmente producir apropiación, valorización, comunicación, organización y proyección suficiente en los grupos ni en las comunidades. En los objetos de transformación se calibran, co-construyen y dimensionan micro-acuerdos, micro-acciones, micro-logros y micro-transformaciones en cada una de las personas partícipes de cada proyecto: micro-transformaciones en conciencias, en espíritus, en miradas, en acciones y en objetos.

En 2014 más de 60 investigadores y actores territoriales de América Latina definen a su manera la Inteligencia Territorial (MEC-IDL-INTI-CLAEH, 2014, pp. 3-25).⁶

Siete pilares de la Inteligencia Territorial latinoamericana. Actualmente, luego de nueve intensos años de escucha y aprendizaje, donde hemos puesto el oído a más de 6000 personas de quince países, entendemos la Inteligencia Territorial latinoamericana mediante la integración de siete ideas-fuerza afines y complementarias, que constituyen a nuestro juicio sus pilares.

Transformación. Tiene lugar en al menos cuatro planos: al interior de cada individuo, y en cuerpo, conciencia y alma. (a) Así, cuando ésta tiene lugar, los otros tres planos de la transformación pueden realizarse en mejores condiciones: la transformación en materia de relacionamiento comunitario y social (b), la transformación de nuestras conductas en relación con nuestros ambientes y territorios (c), y la transformación en la incidencia en los procesos de tomas de decisiones, involucrando en mayor medida las dos patas normalmente más débiles de la mesa: los ciudadanos y los científicos.

Decisión. La IT trabaja para que cada comunidad, siendo más conocedora y consciente de los problemas que tiene, a nivel local, regional y global, decida co-construir y definir con instituciones, empresarios y científicos, un futuro con sus acciones y sus proyectos; y pueda construir una *locusglobalización* (Bozzano, 2009), es decir, otra globalización: multicultural, biodiversa y más sobria.

Agenda. La IT trabaja con agendas de transición socio-ecológica y transformación para que cada territorio, como objeto, sea posible, viable, factible y sustentable, y para que cada comunidad, como sujeto, sea consciente y hacedora de su propio destino, junto a las instituciones, a los científicos de terreno y a los empresarios que los escuchen y consideren.

Proceso. La IT es un triple proceso simultáneo de transformación, lento, gradual y no exento de inercias y contradicciones, orientado a la co-construcción de personas o números en sujetos o ciudadanos, de ideas vagas en proyectos viables y factibles y de

6. También pueden consultarse autores europeos en este link: <http://idihcs.fahce.unlp.edu.ar/territoriosposibles/> .





espacios planos globales en territorios multiculturales, biodiversos y sobrios.

Tránsito. La IT es el tránsito de un proceso de construcción de conocimiento – formación, educación, capacitación, concientización, comunicación, difusión- a un proceso de construcción de un poder social conviviente –y no guerrero- con el poder político, empresario y de los mass media, que construya -*locus*globalización mediante- justicia social global y justicia ambiental global.

Propósito. La IT trabaja para promover identidades multiculturales y biodiversas de la gente y de sus lugares, para dar respuesta a necesidades materiales, en particular las más acuciantes de quienes menos tienen y para promover sueños, expectativas y anhelos de la gente, para que piensen y actúen por y para poder construir juntos un futuro mejor.

Proyecto Científico. La IT es un proyecto científico en desarrollo que pone el énfasis en una caja de herramientas: métodos y técnicas para hacer proyectos concretos, en una docena de conceptos teóricos, para construir en mejores condiciones su status científico y en cuatro rasgos del paradigma emergente de la ciencia para contribuir a desarrollar justicia social global y justicia ambiental global con IT mediante agendas de transición socio-ecológica y de transformación.

Cómo aplicamos la Inteligencia Territorial con la gente. La Inteligencia Territorial en América Latina nació con la *Perspectiva EIDT* en Entendimiento, Inteligencia y Desarrollo Territoriales (Bozzano, Karol y Cirio, 2009). Comenzamos a aplicar la teoría y la metodología EIDT en Entre Ríos (Argentina) y Lavalleja (Uruguay) con la metáfora de “la mesa y las tortas”. Tres patas representan los pilares de la regulación en Max Weber: el Estado, las comunidades y el mundo empresario; respectivamente justicia pública, justicia social y justicia económica. La cuarta pata representa el conocimiento científico y la educación en el marco de un paradigma emergente (de Sousa Santos), es decir, justicia cognitiva.



Figura 2. Metáfora de la Inteligencia Territorial latinoamericana. A la izquierda, la Inteligencia Territorial; a la derecha, la Desinteligencia Territorial y la Injusticia Territorial

Fuente: Bozzano et al. (2009).





Cada pata se compone de astillas de diversa madera, unas más ligadas a diversas justicias (pública, social, económica, cognitiva) y otras a las injusticias dentro de cada pata, siempre presentes. La tabla de la mesa representa el ambiente con sus lugares. Las tortas o pasteles representan cada uno de los procesos o micro-procesos de transformación, o sea, proyectos ejecutables con todas las patas. Las capas de cada torta representan sus fases, sus tiempos. Mientras que los colores de fondo representan las cuatro perspectivas epistémicas presentes de EIDT: el sujeto, el objeto, la metodología y la proyección y/o los sueños y/o la transformación.

En la inteligencia territorial latinoamericana cada proceso de resolución de algún problema (social, ambiental, etc.), se comienza trabajando directamente con los actores involucrados en el terreno con esta metáfora.⁷ Independientemente de la edad o la pata de la mesa que representemos, se trata de un proceso perpetuo de aprender, tanto a aprender como a afrontar y resolver un sinnúmero de problemas. En las instituciones, la ciencia, la comunidad y el mundo empresario es muy frecuente la tentación de hacer proyectos y tomar decisiones desde una sola “pata de la mesa”: puede resultar más simple, cómodo y directo, pero también incrementa las posibilidades de naufragio, por la sencilla razón que ninguna de las cuatro patas sostiene la mesa por sí sola.

Es la justicia cognitiva en procesos continuos de varios años la que contribuirá a revertir tendencias de debilidad de la pata comunitaria y de la tabla ambiental. Ello en un contexto donde las patas de la justicia pública y la justicia económica están en deuda con las otras tres justicias: cognitiva, social y ambiental. Y, como veremos en las cuatro hipótesis de cierre de este trabajo, estas tres justicias están relacionadas con el Poder del Amor en cada uno de los 7500 millones de seres humanos que aproximadamente hoy somos: se trata del amor a sí mismo, el amor al conocer y a sentir, el amor al prójimo y el amor al medio ambiente. En contrapartida, el Poder de las Miserias están emparentados en mayor medida con el amor al dinero —y a un cáncer de la Humanidad denominado corrupción— y con el amor al poder político o a otros poderes, los cuales están muy presentes en las otras dos patas de la mesa: política y económica. De esta manera no contribuyen a que el Planeta y la Humanidad sean unos Territorios Posibles con Inteligencia Territorial. ¿Quién le pone el cascabel al gato?

En cada proyecto social, ambiental o el que elija la gente, se trata en primer lugar de incorporar las cuatro patas de la mesa en la construcción del objeto de estudio, de intervención y transformación. En segundo lugar, se calibra qué métodos (Catalyse, Stlocus, Territorii, otros) y qué técnicas sociales y espaciales serán las más apropiadas para ejecutar cada objeto, proyecto o proceso. En tercer lugar se co-ejecutan métodos y técnicas, y se controla que estos respondan al objeto o proyecto. En cuarto lugar se comparten resultados con actores de las cuatro patas de la mesa, con el objetivo de poner en la mesa posibles problemas y posibles soluciones. En quinto lugar, con base en lo consignado, se co-construye una Agenda Científica Participativa, desde una perspectiva de Transformación con Inteligencia Territorial, la cual se va ejecutando en conjunto con las cuatro patas de la mesa. Esta fase es la más difícil y compleja. Generalmente las Agendas incluyen más de una decena de temas de intervención, pero se comienza con uno o dos.

7. Nuestro I SIIT Seminario Internacional de Inteligencia Territorial en la UNLP nació con la metáfora de las “cuatro patas de la mesa” (Bozzano, H., J.Karol y G.Cirio, 2009:4).





Los Territorios Posibles

Territorios Posibles es, en simultáneo, tanto una perspectiva epistemológica como una perspectiva teórica. Es epistemológica en la medida que aporta a una teoría del conocimiento que articula voces de la gente y voces de la ciencia, en el marco de institucionalidades democráticas y políticas públicas, para producir más conocimiento en quienes menos acceso tienen a él. Es teórica en tanto aporta en la construcción de una teoría de la transformación, orientada fundamentalmente a que sus actores (la gente, las ONG, los científicos, los tres niveles del Estado, el mundo empresario, los medios de comunicación, las fundaciones, etc.) resuelvan en conjunto algunos de los millones de problemas sociales, ambientales y cognitivos que padecen la Humanidad y el Planeta. El concepto de *locusglobalización*⁸ (Bozzano, 2009, 2012), que integra esta teoría en desarrollo, intenta dar respuesta al macroobjeto y a múltiples microobjetos de esta teoría; Puente de Fierro, Ensenada-Berisso-La Plata y Lengupá son solo tres de ellos.

Sin embargo, si las perspectivas epistemológicas y teóricas no se vuelven operativas, terminarán perdiendo aplicabilidad y eficacia para la humanidad y el planeta. Así mismo, a la inversa, si pura acción, práctica y voluntarismo no se enmarcan en teorías, entonces terminarán siendo portadoras de eficacia efímera. Se procuran resumir 36 años de trabajos, muchas veces fracasados, aunque siempre con motivaciones y pasiones, por construir una perspectiva teórico-metodológica que, rescatando un sinnúmero de aportes de muchos siglos de otras personas, pueda dar cuenta de la necesaria dialéctica entre teoría y praxis, investigando el territorio desde el sistema científico y la universidad pública, no solo reflexionando, sino soñando y actuando por un mundo mejor, o más bien muchos micro-mundos, con los sujetos de nuestros objetos de investigación en sus tres fases: estudio, intervención y transformación.

Los territorios posibles, como episteme y como Teoría de la transformación, se van fortaleciendo con aportes de teóricos de la transformación como Boaventura de Sousa Santos y Erik Olin Wright; se van nutriendo de otros maestros como Milton Santos, Orlando Fals Borda, Paulo Freire y Jean-Jacques Girardot; y se van operacionalizando durante las últimas dos décadas con los territorios reales, pensados y posibles, para ir evolucionando e incorporando otras perspectivas de territorios pasados, vividos, legales, concertados e inteligentes. Ello se materializa en la propuesta de creación del Método *Territorii* (Bozzano, 2000; 2009; 2013), el cual, mediante investigación-acción participativa, articula de unas 15 a 20 técnicas espaciales y sociales, como veremos a continuación. También se complementa con los Métodos *Stlocus* (Bozzano y Resa, 2009), *Skypa* (Bozzano, 2009; 2012) y *Portulano* (Bozzano, 1991; 2009).

En 2007 se toma conocimiento de quienes hacían algo bastante semejante desde la década de 1980 en los lugares más vulnerados de Europa: lo llamaron, hace dos décadas,

8. En la *locusglobalización* básicamente se invierte el orden de los términos de lo que se considera *global-local*, o bien desde la década de 1980 *dochakuka* en Japón, *glocalización* en Roland Robertson o Ulrich Beck, *glocal* en Georges Benko u otros aportes. Si bien la fonética es algo más incómoda que en los otros términos, en la *locusglobalización* básicamente se invierte el orden de sendos términos porque cada lugar (en latín *locus*, en latín antiguo *stlocus*, derivación del hindú *sthalam*) en el mundo es singularmente biodiverso y tiene su particular multiculturalidad. El respeto por la biodiversidad y la multiculturalidad es la base de una globalización más respetuosa del ambiente y sus gentes; es allí donde emergen territorios posibles. La globalización se construye desde cada lugar en respeto con los otros. ¿Por qué, por caso esperar o pedir al grupo de los masai-mara en Kenia cuando este año nos relataban cómo armonizan su vida con la naturaleza y la sociedad no masai que la “globalicen” desde una perspectiva inclusiva del “globo”? Son sus *stlocus* particulares quienes determinan otra globalización, y esta debe construirse en mayor medida a partir del respeto a cada biodiversidad y a cada multiculturalidad en cada rincón del planeta. De esta manera la conciencia planetaria global nacerá como *locusglobalización* o más bien como *stlocusglobalización*. En contrapartida, el capitalismo, el colonialismo, el comunismo y la corrupción son o pretenden ser por naturaleza globales: a ellos les resulta más funcional globalizar con barnices locales que no alteren la esencia de sus respectivos propósitos, cometidos e intereses.





Inteligencia Territorial. Así, hace una década, los Territorios Posibles y la Inteligencia Territorial en América Latina, vienen transitando un sendero de manera cada vez más cooperativo y complementario, cada uno con su sello e identidad.⁹

Por qué territorios. Porque el concepto *Territorio*, que investigamos hace más de tres décadas, sintetiza —a nuestro juicio— en mayor medida que otros conceptos, como sociedad, ambiente, hábitat, poder, planeta y humanidad, entre otros, el último millón de años en la Tierra. Sin embargo, ambiente y hábitat son otros conceptos de peso teórico significativo integradores de los conceptos gente y planeta. El territorio es más complejo que la tierra sin vida y su historia geológica. Es también más complejo que la tierra con la vida de sus plantas, animales y su historia biológica, y también es más complejo que la sociedad, la conciencia y su historia social. Procurando excluir a continuación conceptos incomprensibles para el público no iniciado, el territorio es al menos y simultáneamente ocho contenidos conceptuales aplicables a cada lugar del planeta.

1) El territorio es simultáneamente una co-construcción, una co-deconstrucción y una co-destrucción natural-social y social-natural permanente desde que el hombre ha comenzado a interactuar con la naturaleza.

2) El territorio es poder de la naturaleza, poder de la sociedad y poder de ambos en relaciones tanto cooperativas y solidarias, como conflictivas y contradictorias. Disputas y conflictos entre seres humanos son esencia de cada territorio, más aún que transformaciones virtuosas. El poder se manifiesta en macro, mezo y micro procesos en sujetos, sociedades y naturalezas. En tanto poder de la sociedad el territorio es poder del amor de cada uno (amor a sí mismo, al prójimo, al ambiente, otros) y también es poder de nuestras miserias: ira, envidia, corrupción, desprecio y muchas más. Más o menos conocidos, todos los poderes son energías.

3) El territorio es un cúmulo de acontecimientos en tiempo-espacio representativos de meso y macroprocesos acaecidos en cada lugar del Planeta que, en los *territorios posibles*, están proyectando futuros inmediatos y mediatos no muy alentadores.¹⁰

4) El territorio es técnica en términos de un sinnúmero de hibridaciones natural-sociales, de trabajo vivo y trabajo muerto hechos con parte de la naturaleza, por ejemplo, desde una terraza de cultivo milenaria, hasta un conjunto de chips y otras tecnologías en cualquier centro financiero.

5) El territorio son cosas y relaciones juntas, o bien sistemas de objetos y sistemas de acciones, o bien formas de ocupación y apropiación territorial: un barrio, un centro urbano, una zona industrial, una reserva natural, un basurero, una zona agrícola, etc.

9. Sin la motivación y pasión que tenemos por lo que hacemos, ninguno de estos conocimientos, acciones, caminos o resultados hubiera sido posible. Cada ser humano tiene, en más o en menos, su llama interna propia, para ser ebanista, bombero, enfermera, monje, ingeniera, cocinero, actriz o lo que elija. Los Territorios Posibles nacen desde mis utopías de niño cuando soñaba un mundo feliz, un mundo mejor, se forjan utopías en los viajes con mis padres por muchos lugares de Argentina y países vecinos, luego en los viajes de estudio como alumno de la Universidad Nacional de La Plata las utopías se continúan refinando. Desde 1982, año en que obtuve mi primer título universitario, los viajes continuaron sin cesar por muchos países en los cinco continentes soñando utopías y siempre buscando el camino en el horizonte, tal como Eduardo Galeano lo cita de Fernando Birri en sendas conferencias que ambos pronunciaron en la bella Cartagena de Indias. Sin esos aprendizajes este presente y el entusiasmo por la utopía de unos territorios posibles desde una teoría científica no hubiera existido hoy. Al día de hoy la vida me dio la oportunidad de conocer 59 países y pisar 64: en los kilómetros recorridos, que oscilan entre dos y tres viajes a la Luna, está la letra y el espíritu de una bellísima canción escrita por Violeta Parra: “Gracias a la vida”.

10. Recomendamos la lectura de *Brevísima historia del tiempo* de Stephen Hawking, así como sus recientes predicciones sobre la humanidad y nuestro planeta para el próximo siglo en <https://www.youtube.com/watch?v=QytvMa35ak>





6) El territorio es, simultáneamente, símbolos, significados y representaciones. Es también dinero, vil metal, corrupción; es algo con raíces semejantes a “la distinción” en Pierre Bourdieu: el capital cultural y el capital económico.

7) El territorio se compone de relaciones cooperativas, complementarias, contradictorias, conflictivas y/o parasitarias entre actores en sus roles y estados: funcionarios, empresarios, comunidades, científicos, medios de comunicación y otros, siempre en un espacio geográfico con quienes interactúan. Cuando esos roles se alteran los territorios van mutando a imposibles, y el concepto de ética —con su práctica— comienza a debilitarse: políticos en connivencia con actores económicos, y viceversa, científicos que en lugar de hacer ciencia politiquen, así como miles de casos más.¹¹

8) El territorio es *multiscopio*, es decir, es simultáneamente un conjunto de múltiples microscopios (actores) y telescopios (procesos) en cada territorio (lugares). Nos referimos al “microscopio” de cada uno de los más de 7400 millones de seres humanos que somos, y de los trillones o cuatrillones de *microscopios* de otros seres bióticos que pueblan el Planeta. Somos “telescopio” quienes luchamos por posicionarnos por fuera de nuestra conciencia y nuestro ego, y estamos en condiciones de pensar y actuar por meso y macro procesos planetarios (naturales, sociales y sociales-naturales), con los respectivos poderes que cada uno de dichos procesos generan, en estos casos, un poco más armónicos con el Planeta y la Humanidad que decimos amar.

Retomando nuestra definición de 2009,¹² la misma se profundiza y complejiza en 2017. En aquella oportunidad optamos por proponer una definición simple y otra ampliada del concepto territorio.

- Definición simple: El territorio es simultáneamente una co-construcción y una co-destrucción social-natural y natural-social permanente donde poderes de la naturaleza, la sociedad y de ambos en conjunto despliegan procesos con actores en lugares, hibridan objetos y acciones, tiempos y espacios, culturas y dinero, identidades, necesidades y sueños, y proyectan transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales para producir unas Geografías del Amor, el Poder y las Miserias.
- Definición ampliada: El territorio es al menos y simultáneamente quince conceptos y praxis. 1) Es co-construcción, co-deconstrucción y co-destrucción social-natural y natural-social permanente y simultánea, (2) en lugares donde el poder de la naturaleza, el poder de la sociedad y el poder de ambos en procesos complejos de interacción (complementaria, contradictoria, conflictiva, cooperativa), (3) en variadas escalas

11. La ética y los roles de cada uno en la sociedad subyacen a este planteo. Sostenía Max Weber que la ética es uno de los tres pilares de la emancipación, junto al conocimiento y la estética. La letra del tango *Cambalache*, escrita por Santos Discépolo en 1934, tiene hoy una triste vigencia y fuerte relación con estas posturas. Es diferente hacer política que politiquen. Según la RAE, politiquen es Intervenir o brujulear en política; tratar de política con superficialidad o ligereza; hacer política de intrigas y bajezas. Entendemos que el científico hace política desde su lugar como militante científico, mas no para un empresario, un partido político o un líder religioso. El empresario hace política desde su empresa y suele hacer otra política corrompiéndose con el ministro de obras públicas— como ocurre con el caso de Odebrecht—, o viceversa desde el funcionario público. Altera sus roles el *ceo* de una empresa cuando trabaja como ministro público. Altera sus roles el funcionario público cuando designa testaferros para, durante la función pública, asignar la propiedad de tierras, industrias, medios de comunicación, hoteles u otros bienes, etc. Sin embargo, no sólo los políticos hacen política; todos hacemos política desde el lugar que ocupamos en la sociedad.

12. “Es un lugar de variada escala (micro, meso, macro) donde actores (públicos, privados, ciudadanos, otros) ponen en marcha procesos complejos de interacción (complementaria, contradictoria, conflictiva, cooperativa) entre sistemas de acciones y sistemas de objetos, constituidos éstos por un sinnúmero de técnicas (híbridos naturales y artificiales) e identificables según instancias de un proceso de organización territorial en particulares acontecimientos, en tiempo-espacio, y con diversos grados de inserción en la relación local-meso-global. El territorio se redefine siempre” (Bozzano, 2009:67).





espaciotemporales: micro, meso, macro, (4) entretejidos por actores (públicos, privados, ciudadanos, otros) que ponen en marcha (5) los *stlocus*, sistemas de acciones (formas de apropiación) y sistemas de objetos (formas de ocupación). Los *stlocus* (lugares de algo y de alguien) están constituidos por (6) un sinnúmero de técnicas (híbridos naturales y artificiales), (7) son identificables en instancias de un proceso de organización territorial en particulares acontecimientos (en tiempo-espacio representativos de procesos), (9) con diversos grados de inserción en las relaciones de poder local-meso-globales, y (10) generalmente se despliegan en una tensión perpetua entre símbolos, significados, vivencias y representaciones (capital cultural) por un lado, y dinero, materialismo y corrupción (capital económico), por otro. 11) El territorio son procesos, lugares y actores. 12) El territorio son identidades, necesidades y sueños. 13) El territorio son transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales. 14) El territorio es clara y evidente manifestación de las Geografías del Amor, el Poder y las Miserias; cuanto mayor sea el Poder de las relaciones naturaleza-sociedad (Geografías), de nuestro Amor y de nuestras Miserias, mayor será el proceso concernido; estaremos asistiendo a micro, meso o macro procesos según los casos, siempre con actores en lugares. 15) Cada territorio se redefine, reconstruye y/o deconstruye siempre. Por ello los territorios son siempre posibles, a excepción que como Humanidad -con nuestros procesos sociales- los volvamos imposibles hasta hacerlos desaparecer como territorio o bien que el Universo -con sus procesos naturales- lo haga desaparecer y nos recicle en otra manifestación de energía hoy desconocida.”¹³

Si los meso y macro procesos, junto con los meso y macro poderes que ellos acarrearán y desencadenarán, han sido y siguen siendo promovidos o impulsados, abierta o subrepticamente, por algunos de los aproximadamente 110 mil millones de seres humanos que se estima hemos poblado el Planeta¹⁴, entonces cabe reflexionar acerca de cómo cada uno ha incidido y sigue incidiendo en el futuro de la humanidad y el planeta, es decir, en territorios posibles o en territorios imposibles según los casos. No es casual la reciente afirmación de Stephen Hawking citada precedentemente.

Por qué posibles

Al referirse a lo posible y lo real, el Premio Nobel Ilya Prigogine plantea que “...lo posible es ‘más rico’ que lo real. El universo que nos rodea debe ser entendido a partir de lo posible, no a partir de un estado inicial cualquiera del cual pudiera de alguna manera deducirse.” (Prigogine, 1996: 65) El autor cita el planteo que Bergson hace en *Le possible et le réel*, acerca del tiempo, entendiéndolo como “brote efectivo de novedad imprevisible.” Si coincidimos con Prigogine en que el “fin de las certidumbres ha llegado”, no se trata de construir una certidumbre sobre un *territorio posible* ideal o perfecto para todos los

13. Un agradecimiento al Dr. Gastón Cirio (UNLP-Conicet), Dra. Lourdes Poujol (UNICEN), Dra. Elvira Suárez Montenegro (UNSJ) y Dr. Oscar Madoery (UNR) por sus comentarios, aportes, críticas y sugerencias en estas reflexiones referidas a una nueva evolución después de nueve años del concepto territorio, no obstante no hacerlo responsable de las mismas, ni de los “sentipensamientos” (O.Fals Borda) que pudieran ocasionar al lector. Con sus aportes, algunos incluidos aquí, continuamos ahora profundizando el análisis en diversas aristas relacionadas algunas de ellas con los cuerpos –no sólo del malestar, sino del buen vivir y el estar bien- y el territorio, con el poder, la política y una superación de la fase del pensar situado que denominamos del pensar-hacer situado, así como de otros *clivages*. El lector puede consultar a 540 personas “Qué entienden por territorio”, una sistematización y análisis en 7 macro variables y 21 variables acerca de lo que cada uno entiende por territorio: Bozzano, H. G.Cirio y G.D’Amico en Bozzano (2009:57-75), 3ª edición 2017

14. Cómo han incidido y siguen incidiendo en nuestras civilizaciones y nuestro medio ambiente seres humanos como Buda, Confucio, Aristóteles, Alejandro Magno, Mahoma, Jesucristo, Carlomagno, Gengis Khan, Qin Shi Huang, Galileo Galilei, Simón Bolívar, Karl Marx, Martín Lutero, Iósif Stalin, Adolf Hitler, el Che Guevara, Nelson Mandela, actualmente Donald Trump o Kim Jong Un, entre muchísimos otros seres, es un interrogante al cual tal vez nunca logremos dar respuesta. Entre los más de cien mil millones de seres humanos que habitamos el Planeta se estima que una pequeña proporción –estimada en 1 al 5%- tienen o han tenido una mayor influencia en los poderes de nuestras geografías, nuestro amor y nuestras miserias, así como en sus procesos asociados.





7.400 millones de seres humanos, ni para sus ambientes. Es —más bien— construir y aplicar conocimiento para neutralizar las aberrantes tendencias de injusticia social, desigualdad económica, corrupción, degradación ambiental y muchas otras ahora para evitar las predicciones de Stephen Hawking y de otros científicos.

Los *territorios posibles* siempre convivirán con los *territorios imposibles*, porque siempre convivirán en cada uno de nosotros nuestras Geografías del Poder del Amor —presentes en un 1%, 5%, 99% u otros porcentajes— y nuestras Geografías del Poder de las Miserias —en proporciones complementarias a aquel—. El poder no es solo político, económico, ideológico, social y cultural. El poder es también de la naturaleza, siendo éste generalmente olvidado o ninguneado por numerosas ciencias sociales. Del mismo modo los poderes emergentes de nuestras sociedades son sesgados u omitidos por los científicos naturales. Es un problema nuestro, más no de los *territorios reales y posibles*.

En una orientación algo semejante, Michel Serres plantea que en los espacios virtuales nos anegan multiplicidades de posibles:

Los investigadores siempre sabemos bastante bien *de dónde* venimos, por lugar nativo, cultura singular e instrucción preparatoria, recogida en los campos de nuestros azares, por la formación de nuestra infancia, sin saber demasiado anticipadamente *hacia dónde* nos dirigimos precisamente, *por dónde* pasaremos y *dónde* nos encontraremos en un momento dado, pues, para conocer estas posiciones y trazarlas sobre el mapa del proyecto, tendríamos que haber encontrado lo que buscamos incluso antes de descubrirlo. En estos espacios virtuales nos anegan multiplicidades de posibles (Serres, 1995, p.261).

Ante tamaña incertidumbre, ¿cómo incorporar alguna certidumbre entre lo *real* y lo *posible*? Comencemos reconociendo que entre lo real y lo posible hay otras situaciones o circunstancias. Al menos se encuentran lo *vivido* (percepciones, representaciones, símbolos), lo *pasado* (evocado y constatado en un presente) y lo *pensado* (analizado o interpretado).¹⁵

Estas cinco fases, lo real, lo vivido, lo pasado, lo pensado y lo posible, junto a la fase de lo legal, del *Método Territorii* (que a continuación —en 3.3— se exponen sintéticamente) conforman tanto círculos virtuosos, como círculos viciosos de transformación, que nos ofrecen mejores condiciones para conocer cómo traccionar las dos últimas fases de *Territorii*: los *territorios concertados* y los *territorios inteligentes*.

Cada círculo, virtuoso o vicioso, es portador de micro-transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales, aunque también planetarias y universales. Estas últimas son investigadas particularmente por la física, la metafísica y la astronomía. Sin estas micro-transformaciones subjetivas, ¿cómo entender en nuestros territorios circunstancias tan frecuentes y opuestas como el cuidado del ambiente, el amor al prójimo, la democracia con justicia, las guerras, los fanatismos, el despilfarro ambiental y la exclusión social, entre miles de casos?

Allí donde aparece más débil, lo posible está solo insinuado, o bien, habiendo más energías, investigadas analítica y aisladamente por diversas disciplinas científicas¹⁶, las condiciones de posibilidad se incrementan hasta que nuestros vectores de intencionalidad (micro-transformaciones decisionales producto de nuestras micro-transformaciones

15. Luego de acordar qué es lo real, aquello que ontológicamente tiene una existencia que nadie puede discutir, cada sujeto vivencia, historiza y piensa su realidad de una manera diferente al otro.

16. Estamos analizando artículos científicos referidos a la física cuántica, la psicología energética y la psicología transpersonal, e intentando ponerlos en relación con algunas de las Escalas Lickert de 1 a 10 ejecutadas en el Censo "Puente de Fierro, Identidades, Necesidades y Sueños".





subjetivas, sociales y ambientales) lo disparen.

Los territorios fueron, son y serán reales, vividos, pasados, pensados y posibles. Lo posible deriva en sujetos posibles, territorios posibles y universo posible. En lo concerniente a los territorios posibles, si estos son multiculturales, biodiversos, sobrios, sin despilfarros y con seres más felices, con amor, es decir, territorios de respeto al planeta, a la vida y al otro, podremos ir a contrapelo de las recientes afirmaciones de Stephen Hawking. De continuar estas tendencias de la Humanidad con el Planeta, lo posible derivará en territorios imposibles: territorios de la agresión al otro, a la vida, al planeta. Como se expone en la cuarta hipótesis, en el último ítem del texto, nos referimos a las Geografías del Amor, el Poder y las Miserias, donde conviven territorios posibles y territorios imposibles.

Reconociendo diferencias, en ocasiones notables, entre culturas (europeas, indias, orientales, africanas, etc.), nuestra vida y nuestro pensamiento se sitúan entre lo real y lo posible. Del mismo modo, los territorios vividos y los territorios pensados se posicionan entre los territorios reales y los territorios posibles.

Entre lo vivido y lo posible será oportuno estudiar, entre las múltiples vivencias presentes y pasadas de un sinnúmero de actores, aquellas con mayor peso en un futuro deseable por la comunidad concernida —no solo por nosotros, académicos, o por los gobernantes— las cuales deberán ser evocadas, prefiguradas, acordadas en algún grado y trabajadas con los actores que serán partícipes de los *territorios posibles*.

Entre lo pensado y lo posible, será menester estudiar y conocer, junto a las comunidades concernidas entre las probables tendencias, aquellas más sustentables. Estas deberán ser definidas, prefiguradas, acordadas en algún grado y trabajadas con los actores que serán partícipes de los *territorios posibles*. Para estudiar las tendencias será necesario reconocer y sistematizar tendencias del pasado mediato e inmediato, lo cual no significa en absoluto que los *territorios posibles* sean una proyección espaciotemporal lineal del pasado y el presente.

Referido a nuestro trabajo concreto, a saber, la interpretación de un tema, un objeto de estudio y/o de un problema a partir de una sucesión e interpenetración entre lo real, lo vivido, lo pensado y lo posible, constituye —a nuestro juicio— una manera de articular con mejores argumentos nuestro objeto en términos de objeto de estudio y de intervención. Este es el motivo central por el cual consideramos que trabajar con este espíritu contribuye a galvanizar de manera más sólida la teoría y la práctica en casos concretos.

En definitiva, un territorio posible, referido a cualquier aspecto que se desee transformar, sea pequeño, mediano o mayúsculo, deberá ser representativo de acuerdos mínimos entre los sujetos que conforman territorios reales, vividos y pensados, valorizando lo más rescatable de los territorios pasados y promoviendo en la medida de lo posible los territorios legales. Ello constituirá, a la vez que una forma diferente de concretar territorios posibles de manera inconsulta o vertical, un reaseguro de que la sostenibilidad —hoy tan de moda en las agendas y con tan poca eficacia real— incorpore realidad, vida y pensamiento, no solo de decisores y de actores del mundo académico, sino de la mayoría de la población. Rescatando lo esencial de lo real, lo vivido y lo posible, estaremos en mejores condiciones para entender que desde hoy, desde cada momento, todos los lugares son posibles. En la medida que continuamente los lugares son cruzados por la flecha del tiempo, cambian, se transforman, se redefinen.





Pensando hoy cada uno en su problema, tema u objeto de su preocupación (un programa, un plan de trabajo, una tesis, un proyecto concreto con la gente de cualquier escala, naturaleza y alcance) nuestra posición parte del reconocimiento de un acuerdo bastante amplio entre los actores acerca del territorio real, que estemos pensando trabajar. Nos referimos aquí a los lugares que vemos y conocemos. Podremos ponernos bastante de acuerdo en una primera instancia sobre lo que prácticamente no hay discusión: lo ontológicamente real. Cuando ya entran la percepción, la emoción, los sentimientos, los pensamientos, lo “sentipensante” y alguna cosmovisión teórica particular, el territorio irá dejando de ser un común real para todos.

El *territorio posible* se refiere simultáneamente a procesos posibles, lugares y actores posibles, en sociedades posibles y en naturalezas en transformación o transformadas posibles. Surge de una elección, entre muchas opciones, de una proyección simultánea de sucesiones y de coexistencias en un lugar determinado, por actores determinados en un proceso determinado, entre miles de procesos. No es posible aún descubrir, entre el sinfín de posibilidades y oportunidades, cuáles son las que ocurrirán. Sin embargo, es posible indagar los ejes de las sucesiones y las coexistencias en un lugar determinado con el propósito de plantear hipótesis de territorios posibles, de identificar oportunidades y posibilidades más probables, sustentables y deseables que otras.

El *territorio posible* alude a tendencias emergentes de relaciones probables (no verificadas) sin alejarse de las inercias territoriales, de la situación y de las tendencias investigadas para el presente. Sin embargo el *territorio posible* no necesariamente es una prolongación lineal espaciotemporal del pasado y el presente. La proximidad entre lo probable y lo estudiado, tanto lo real como lo vivido y lo pensado, debería tener un mínimo consenso en los actores de la sociedad involucrados (políticos, grupos sociales, actores económicos locales) como para producir transformaciones en el territorio.

Referidos por caso a la posibilidad de poner un tren en marcha o a crear nuevos municipios (proyectos de investigación-acción participativa, realizados por nuestro equipo de investigación entre 1992 y 2009) es posible reconocer que, haciendo conscientes los vectores de decisión, los *territorios posibles* podrán viabilizarse en mejores condiciones en una propuesta y en una voluntad concreta de cambio en un lugar determinado. Ello se manifiesta en la coexistencia y la sucesión espaciotemporal de sistemas de objetos y sistemas de acciones, el poder con sus horizontalidades y verticalidades en lugares y momentos determinados generando *apropiación, valorización, organización, comunicación y proyección* (Bozzano, 2009, pp.193-197) en los actores y en los lugares mediante procesos de transformación variados.

Ahora bien, con tan escasa producción científica en el tema, ¿cómo investigar entre todos los *posibles* de cada *territorio*?, ¿cuáles son más posibles que otros?, es decir, ¿cuáles son los territorios más viables y factibles que estarían pudiendo acontecer más que otros, sean estos sustentables o insustentables, justos o injustos? La investigación debería remitir en principio a otra investigación que diera respuesta a otra pregunta: ¿cómo investigar, entre todos los *posibles* de cada *sujeto* en cada *territorio*, cuáles son más posibles que otros? Esto es casi un círculo infinito. ¿Cuáles son los pensamientos, sentimientos y acciones que cada sujeto visualiza como más viables y factibles de que ocurran en su vida porque lo anhela, desea o sueña? Más allá que después cambien sus visualizaciones, expectativas, deseos, anhelos y sueños, una investigación en un territorio determinado, por ejemplo en el Barrio Puente de Fierro, podría al cabo de una década verificar qué relaciones existen entre sus *territorios reales, vividos, pasados, pensados y posibles*.





Figuras 3 y 4. Barrio Puente de Fierro en 2017.

Fuente. Fotos de Tomás Canevari

Si una buena proporción de sus habitantes ya nos ha expresado en una escala Lickert, de 1 a 10, cuáles son sus identidades, necesidades y sueños relacionados básicamente con un buen vivir y mejores condiciones de vida en el barrio, también es cierto que hay algunos para quienes el barrio es un buen lugar donde comerciar drogas y robar a sus vecinos. Sin embargo, podemos tener la certeza de que, en las respuestas, ninguno de los entrevistados haya expresado en el censo esto último.

No obstante, en dicho Censo, realizado en 2017 en 1054 hogares con dos visitas por hogar, uno de los resultados fue la percepción, por parte de los habitantes, de un alto grado de inseguridad y de circulación de droga en el barrio. ¿Cómo pensar y hacer *territorios posibles* del buen vivir o *territorios posibles* de la droga y la inseguridad?, o bien, ¿cómo hacer o aceptar que convivan ambos *territorios posibles*?¹⁷ Las motivaciones, anhelos, deseos y sueños -manifestados en energía, que cada sujeto, habitante del barrio, dedique a lo que quiere será determinante de sus territorios posibles, así como el apoyo de políticas públicas.

Desde 1990, origen del barrio Puente de Fierro, hasta el presente las instituciones públicas municipales, provinciales y nacionales, con sus políticas y programas, no pudieron, no decidieron y/o no quisieron intervenir en dichos temas, al menos suficientemente en el barrio para contribuir a hacerlo un territorio posible con buen vivir. Sin embargo, existen vectores de decisión de territorios posibles que en definitiva están olvidando o ninguneando tanto a aquellos sujetos que día a día dedican energía a un buen vivir, a buscar trabajo digno, a educarse, a capacitarse, mientras otros dedican energía al comercio de la droga y a generar inseguridad, reduciendo en ellos mismos y los demás procesos de autoconocimiento, justicia social y cognitiva en la mayoría de los demás habitantes del barrio.

Desde esta concepción, los *territorios posibles* son infinitos. En general serán producto de obras, acciones, pensamientos y sentimientos concretos orientados a transformar sistemas de objetos, sistemas de acciones; y procesos de autoconocimiento, sensibilización, concientización, educación, investigación, extensión, entendimiento, inteligencia y justicia territoriales determinados. Nos estamos refiriendo, por ejemplo, a la concreción de obras y acciones tan disímiles y heterogéneas como un programa para

17. Los territorios posibles del buen vivir, que conviven conflictivamente con territorios del robo, la corrupción, la droga y la violencia, también existen en los barrios y lugares más adinerados, así como también en todos los lugares del Planeta. Es totalmente injusto estigmatizar a los asentamientos informales como los antros de la droga, la inseguridad y la violencia.





pavimentar caminos rurales, establecer los límites de un nuevo municipio, definir las zonas de un código urbano o poner en marcha un tren.

Consiste en la búsqueda de escenarios más sustentables en asentamientos precarios o en lugares en proceso de despoblamiento que atraviesan crisis profundas, la implementación concreta de una política de ordenamiento territorial, de un programa para reducir el desempleo en una comuna, de un plan de desarrollo turístico o de un programa de acción orientado a concientizar a la población en la práctica del cuidado de la salud buco-dental, en la diagramación y realización de una revista en un barrio vulnerable, en la capacitación en oficios para lograr la inserción laboral, en acciones orientadas a incrementar la transparencia entre instituciones de gobierno, empresas, sindicatos y otras instituciones, en planes de monitoreo y remediación ambiental efectivos y miles de iniciativas más. La inclusión social y el cuidado ambiental son contradictorios con la corrupción y otras prácticas poco transparentes en miles de millones de seres humanos.

El Método Territorii

Si las teorías no se aterrizan, corren el riesgo de circular *in eternum* por “la troposfera de nuestros cerebros”. *Territorii* es un método de aplicación flexible con una visión integral de los territorios. En su última versión (Bozzano, 2013), este método incorpora en mayor medida la participación de actores comunitarios, políticos, económicos y científico-técnicos.

Territorii, en latín significa la tierra de algo y de alguien: hay una relación entre sociedad y naturaleza, entre identidades comunitarias e identidades territoriales. Se trata de un método con base científica, ejecutable mediante IAP, para incorporar en objetos de investigación básica y aplicada referidos a la Gestión Integral del Territorio, a la Gobernanza Territorial Integrada, a Procesos de Intervención y Transformación con Inteligencia y Justicia Territorial y objetos afines. Esto quiere decir que no aplica solo a objetos de estudio, sino a objetos de intervención y de transformación, donde cada una de las tres fases del objeto supone una triangulación ascendente. En resumen ellas son procesos, lugares y actores (objeto de estudio), ideas en proyectos, espacios banales en territorios sustentables y personas en sujetos (objeto de intervención) e identidades, necesidades y sueños (objeto de transformación).

Territorii se hace con dos objetivos centrales: (1) conocer y reconocer el territorio mediante el tránsito de ocho momentos: territorios reales, vividos, pasados, legales, pensados, posibles, concertados e inteligentes; y (2) generar un espacio científico participativo de formación de la comunidad, instituciones y empresas, orientado a aprender a concebir, formular y concretar proyectos y micro-proyectos con resultados palpables por la gente insertos en una problemática más amplia que la de cada proyecto.

El método aplica, con diversas técnicas, los conceptos mencionados que coinciden con ocho fases, que resumen respectivamente y en buena medida, instancias y lecturas descriptivas, perceptivas, históricas, prescriptivas, explicativas, propositivas, inteligentes y transformadoras de los territorios.

Territorios reales. Estos son aquellos objeto de una instancia *descriptiva* en nuestros trabajos. Refieren a realidades reconocidas en los territorios, no necesariamente elegidas ni consensuadas por todos: los territorios reales existen ontológicamente, no pudiendo discutir en su esencia los rasgos de los cuales se elige dar cuenta, aunque sí su elección. Son preferentemente analíticos, están expresando un aspecto de la compleja realidad.





Generalmente refieren al uso del suelo real, el relieve, la población, las infraestructuras, la hidrografía, los equipamientos, las necesidades básicas insatisfechas, el tamaño de las explotaciones agropecuarias, etc.

Territorios pasados. Estos son objeto de evocaciones históricas referidas a acontecimientos en tiempo-espacio, como manifestaciones de procesos representativos, significados o resignificados por sus habitantes. Los acontecimientos del pasado son evocadores de procesos importantes en cada territorio, tanto procesos sinérgicos, favorables o positivos, como procesos conflictivos, negativos o catastróficos para sus habitantes. No se trata aquí de evocar acontecimientos personales o individuales, sino aquellos que estén presentes en el pasado, bien sea cercano bien sea lejano, de cada territorio. Su evocación es útil para proyectar una inteligencia colectiva hacedora de lo que se quiere y de lo que no se quiere para el futuro de cada territorio.

Territorios vividos. Son objeto de una instancia perceptiva en nuestros trabajos. Refieren a formas de percepción particulares: sensorial, intuitiva, emocional, simbólica, artística; o, por otra parte, a necesidades, problemas, intereses o expectativas por parte de quienes viven los territorios. Estos territorios constituyen la instancia vivida por parte de quienes perciben y son parte, de muy diversa manera, de un determinado territorio o lugar. Refieren al percibir y/o sentir de los sujetos *de*, *en* y *por* los territorios.

Los territorios vividos son preferentemente perceptivos, están expresando unas pocas de un sinnúmero de percepciones del vasto y complejo campo perceptual. Cuanto mayor es el territorio y el colectivo social, más variadas y numerosas serán las percepciones, y más complejo será entonces construir acuerdos.

Territorios legales. Estos pertenecen a una instancia *prescriptiva* en nuestros trabajos. Refieren al *deber ser* de los territorios. Responden a preguntas tales como ¿cuál es la jurisdicción territorial de una regionalización vial, sanitaria, educativa, judicial u otra?, ¿cómo se regula el uso, la ocupación y la subdivisión urbana, periurbana y rural?, ¿cuál es la jurisdicción territorial de un municipio, un departamento, una provincia, un estado-nación o de otra unidad político-administrativa? Los *territorios legales* son aquellos que interpretan y espacializan, a partir de los criterios —supuestamente— más racionales de funcionamiento de aspectos específicos (urbanos, rurales, viales, turísticos, defensa civil, seguridad, bomberos, etc.), la manera en que ellos deben desplegarse y concretarse en territorios determinados. Es frecuente en América Latina observar el incumplimiento de los territorios legales, en buena medida debido a la debilidad en las políticas de Estado.

Territorios pensados. De estos nos ocupamos en una instancia *explicativa* e *interpretativa* en nuestros trabajos. Refieren al por qué de los territorios. Son aquellos que, mediante su explicación, interpretación y definición, nos aproximan a una síntesis del territorio, bajo alguna particular concepción teórica y con conceptos operacionales, que sean bien seleccionados y precisados. Para entender un *territorio pensado*, nos valemos básicamente del entendimiento de territorios reales, vividos, pasados y legales, pero también de otras interpretaciones, no necesariamente territoriales, referidas a procesos sociales y naturales en sentido amplio, así como a lógicas particulares de actores no necesariamente territorializables.

Territorios posibles. Pertenecen a una instancia propositiva y/o predictiva en nuestros trabajos. Refieren a cuáles son los territorios deseables. Sintetizan el concreto real, el concreto vivido, el concreto historizado, el concreto legal y el concreto pensado existen en la medida que aportan elementos viables y factibles para producir cambios o transformaciones durables, de la más diversa naturaleza y escala. En los *territorios*





posibles se reconocen las tendencias emergentes de relaciones probables, no verificadas, sin alejarse de las inercias territoriales, de la situación y de las tendencias investigadas para el presente. La proximidad entre lo probable y lo estudiado, tanto lo real, lo vivido, lo pasado y lo legal, como lo pensado, debería tener un mínimo consenso en la sociedad involucrada, a saber, comunidades, políticos, actores económicos locales, científicos, como para producir transformaciones en el territorio.

Territorios concertados. Son aquellos referidos a una instancia inteligente en nuestros trabajos e investigaciones. Dado que en todos los territorios hay un sinnúmero de conflictos, contradicciones, confrontaciones, y también solidaridades, cooperaciones, complementariedades, los *territorios concertados* son de muy dificultosa construcción. Esto en razón no solo a que en ellos participan los decisores tradicionales, generalmente relacionados con los poderes político, económico y *mass media*, sino también las comunidades, particularmente aquellas más vulnerables y olvidadas, y también los ambientes más vulnerables, como aquellos que no hablan en nuestro idioma, pero sí en el suyo.

Los *territorios concertados* son una variante no muy frecuente de territorios proyectados. Generalmente estos últimos emergen de proyectos realizados en una oficina pública o en un laboratorio bastante o muy alejados de la gente, según los casos. En Territorii, en cambio, los territorios proyectados son aquellos concertados en programas de trabajo y de acción y en agendas de transformación en un mundo sobrio, multicultural y biodiverso, donde subyace una transición socio-ecológica particular a cada continente o cada macrorregión.

Llegar a concertar un territorio es un “trabajo de hormigas”, y también una tarea ciclópea. En la construcción de territorios concertados emergen dos estilos de gestión de manera simultánea: *top-down* y *bottom-up*, tal como fueron expuestos en el Método *Skypa* (Bozzano, 2009). Estos estilos coinciden, en buena medida con la propuesta de Erik Olin Wright en su libro *Construyendo utopías reales*, en donde al hacerse esta pregunta responde con cuatro verbos o acciones: aplastar al capitalismo, escaparle, domesticarlo o erosionarlo. Wright se decanta por el segundo y tercer verbo, como hacemos y aplicamos también nosotros en nuestras Agendas Científicas Participativas en marcha.¹⁸

Territorios inteligentes. Son aquellos donde se verifica una instancia *transformadora* en los sujetos que integran los objetos de nuestras investigaciones, co-construidas con todas las “patas de la mesa”. La transformación debe ser virtuosa, es decir, puede ser una transformación sobria, que reduzca el despilfarro, la corrupción, o que amortigüe los poderes económicos, políticos o de los *mass media* más concentrados.

Los *territorios más inteligentes* son aquellos donde un mayor cúmulo de acciones o programas concertados se ponen en marcha y donde simultáneamente se verifican transformaciones en conciencias, espíritus, miradas o perspectivas; en acciones y en objetos sobrios. En el mundo Occidental es complejo encontrar territorios inteligentes desde sus raíces, dado que el consumismo, el materialismo y el individualismo —tres pilares del capitalismo— van a contrapelo de estos territorios. Hay y hubo un gran número de comunidades nativas en los Andes o en muchísimos otros lugares del Planeta que constituyen notables ejemplos de territorios inteligentes.

18. El PIO-OMLP UNLP-Conicet “Gestión Integral del Territorio” ha puesto en marcha luego de más de cuatro años de investigación multidisciplinaria e interactores en el Gran La Plata dos Agendas Científicas ejemplares y replicables en miles de lugares de América Latina ejecutando la siguiente ecuación: Gente + Ciencia + Políticas Públicas, en este orden. Pueden consultarse resultados en <http://omlp.sedici.unlp.edu.ar/dataset?q=gesti%C3%B3n+integral+del+territorio>





¿Territorios posibles o imposibles?: ¿qué paradigma científico, qué tipo de investigación?

La relación de nuestros objetos (procesos, proyectos) de investigación con la realidad ambiental, social, económica, política o cognitiva: más allá de aportar nuevo conocimiento científico, ¿aporta a la construcción de territorios posibles o imposibles? Lo hace con un compromiso para la transformación virtuosa o viciosa, o ¿es solo investigación teórica sin derrame en la sociedad ni el ambiente? Una ciencia y una educación renovadas son pilares de una *justicia cognitiva global* (de Sousa S., 2009) que puede contribuir en los hechos a que se produzcan un sin fin de *micro-círculos virtuosos de transformación* (Bozzano, 2007, 2012) para generar *justicia social global* (de Sousa S., 2009) y *justicia ambiental global* (Bozzano, 2012), aunque fuera aportando nuestro humilde granito de arena en cada una de nuestras investigaciones. Este es el rumbo axiológico y epistemológico de los Territorios Posibles.

Si este mismo ejercicio lo hiciéramos retrospectivamente en los últimos cuatro siglos encontraríamos una tendencia que no haría sino reforzar este difícil y bastante triste panorama de las Ciencias: unas Ciencias que con los millones de invalorable aportes hechos a la Humanidad no alcanza hoy a dar respuestas suficientes desde su lugar –y no desde la política, la ciudadanía o el mundo empresario- a las situaciones de postergación de más de dos mil millones de seres humanos, despilfarro del Planeta y desinteligencias entre nosotros, más de siete mil millones de pares muy impares.

Territorios posibles: ¿qué preguntas hay desde la ciencia? Los territorios posibles se activan desde la ciencia con preguntas simples que referencien no solo a posibles problemas, sino a posibles soluciones. Si el conocimiento científico solo permanece en el entendimiento de los problemas, nunca habrá territorios posibles. En su Capítulo 1 de *Una epistemología del Sur*, Boaventura de Sousa Santos realiza, en cuarenta páginas, una síntesis de cinco siglos de ciencia, con una notable claridad y profundidad. (2009:17-57). Resalta "...la urgencia de dar respuesta a preguntas simples, elementales, inteligibles", al estilo de las que hiciera el niño Jean-Jacques Rousseau en 1750 acerca de las relaciones entre la ciencia y la virtud.¹⁹ Argumenta que si hoy "nuestras preguntas son simples, nuestras respuestas lo son mucho menos. Estamos en el fin de un ciclo de hegemonía de un cierto orden científico".

Cabe reflexionar entonces si las preguntas que nos hacemos en nuestras tesis y en nuestros proyectos de investigación aplicada son simples y profundas o si bien siendo profundas, son más complejas de entender, conocer o al menos pulsar en quiénes provocan o pueden provocar satisfacción, interés, expectativa o alegría, si en nosotros por haber publicado un artículo científico más, si en políticos, empresarios o ciudadanos, y en tal caso en qué tipo de ciudadanos, políticos, empresarios y universitarios, y por qué motivos, si es por traccionar *micro-círculos de transformación, virtuosos o viciosos* (Bozzano, 2009, 2012)

En nuestro quehacer científico, con nuestras tesis y proyectos, ¿estamos más próximos de ser un *interlocutor terriblemente estúpido* (Prigogine, 1996), y/o desencantado y triste (de Sousa Santos, 2009) que interlocutores alegres o virtuosos? ¿Cuándo concebimos

19. "¿El progreso de las ciencias y de las artes contribuirá a purificar o a corromper nuestras costumbres? ¿Hay alguna relación entre la ciencia y la virtud? ¿Hay alguna razón de peso para que sustituyamos el conocimiento vulgar que tenemos de la naturaleza y de la vida y que compartimos con los hombres y las mujeres de nuestra sociedad por el conocimiento científico producido por pocos e inaccesible a la mayoría? ¿Contribuirá la ciencia a disminuir el foso creciente en nuestra sociedad entre lo que se es y lo que se aparenta ser, el saber decir y el saber hacer, entre la teoría y la práctica?" Preguntas simples a las que Rousseau responde, de modo igualmente simple, con un rotundo no.





y luego hacemos nuestras investigaciones?, ¿qué es lo que más flota en la atmósfera? ¿Un conocimiento científico accesible para pocos, para muchos, para quiénes? ¿Hay una segunda ruptura epistemológica, es decir, hay una vuelta, traducción mediante sujetos de nuestro objeto? ¿Ellos terminan sintiendo y haciendo suyo parte de nuestro trabajo científico? ¿O nuestro objeto es más bien una entelequia construida a la manera de los racionalistas de los que escribía Francis Bacon en 1629, a modo de arañas que no hacían sino telas sacadas de sí mismos?

Si somos más empiristas, a modo de hormigas que no hacemos sino amontonar y usar, en palabras de F. Bacon, aquello que amontonamos y usamos, ¿a quién le interesa, motiva o alegra? Y aún considerando que el problema no es lo que otros piensen sino lo que somos: ¿No estaremos nosotros funcionando en una burbuja? Los *territorios posibles* se construyen fuera de burbujas, sí y solo si logramos saber ser *arañas* y *hormigas* en los momentos más oportunos de nuestros trabajos, de manera que millones de personas vayan dejando de pensar con alguna razón fundada que vivimos en una burbuja alejada de la realidad. Como nos ocurre en Puente de Fierro, Ensenada, Berisso y Lengupá, donde hablamos el mismo lenguaje con todos.

Además de producir nuevo conocimiento, nuestras investigaciones ¿reconocen identidades? ¿Dan respuesta a necesidades? ¿Motivan sueños? ¿En qué medida responden a preguntas tal cómo quiénes somos, qué necesitamos, qué queremos? ¿A quiénes les enciende la llama interna del quién soy, qué necesito y qué quiero? O finalmente ¿terminamos no encendiendo ninguna llama interna? Los territorios posibles responden a identidades, necesidades y sueños más genuinos de cada pueblo, colectivo, cultura, sociedad, sino van derivando en territorios imposibles.

Sean proyectos de fijación de nitrógeno en cañas de azúcar, efectos perversos de la urbanización capitalista en una ciudad latinoamericana, desarrollo de una pintura para barcos resistente al agua de mar, planificación del transporte en una metrópolis, desempleados y postergados urbanos o rurales o cualquier otro, entre millones de temas, ¿En qué proporciones aproximadas de los tiempos y energías dedicadas a nuestra investigación, ella es objeto de estudio, objeto de intervención y/u objeto de transformación? ¿En un tercio cada una? ¿En un 60, 30 y 10%, respectivamente? ¿En un 90, 10 y 0%? ¿En un 99, 1 y 0%? ¿En otras proporciones? ¿Cuánto tiempo y energía dentro de nuestra tesis o proyectos de investigación dedicamos a trabajar y responder a preguntas como las enunciadas precedentemente? ¿El setenta, el cincuenta, el veinte, el uno o el cero por ciento? Para aportar en la co-construcción de *territorios posibles* es necesario desde el origen de los procesos pensar, planificar y hacer desde el objeto en sus tres fases: estudio, intervención y transformación.

El paradigma dominante: ¿Territorios imposibles? El modelo de racionalidad del paradigma dominante "...que preside la ciencia moderna se constituyó a partir de la revolución científica del siglo XVI y fue desarrollado en los siglos siguientes básicamente en el dominio de las ciencias naturales. Aunque con algunos presagios en el siglo XVIII, es solo en el siglo XIX cuando este modelo de racionalidad se extiende a las emergentes ciencias sociales." Desde aquel entonces, este modelo global se defiende de "...dos formas de conocimiento no científico (y, por lo tanto, irracional) potencialmente perturbadoras e intrusas: el sentido común y las llamadas humanidades o estudios humanísticos (en los que se incluirán, entre otros, los estudios históricos, filológicos, jurídicos, literarios, filosóficos y teológicos)" (De Sousa, 2009, p. 21) A este paradigma los separa del saber aristotélico y medieval "...no solo una mejor observación de los hechos como sobre todo una nueva visión del mundo y de la vida, (que) reconduce a dos





distinciones fundamentales, por un lado, entre conocimiento científico y conocimiento del sentido común y, por el otro, entre naturaleza y persona humana Tal como fue posible descubrir las leyes de la naturaleza, sería igualmente posible descubrir las leyes de la sociedad". Así, el positivismo del siglo XIX, reconociendo que "...solo hay dos formas de conocimiento científico —las disciplinas formales de la lógica y de la matemática y las ciencias empíricas según el modelo mecanicista de las ciencias naturales— (argumenta que) las ciencias sociales nacerán para ser empíricas." Con la tradición filosófica de la fenomenología —Max Weber, entre otros— surgen perspectivas antipositivistas, según las cuales "...la ciencia social será siempre subjetiva, (utilizará) métodos cualitativos en vez de cuantitativos, con vista a la obtención de un conocimiento intersubjetivo, descriptivo y comprensivo, en vez de un conocimiento objetivo, explicativo y nomotético." (De Sousa, 2009).

Siendo que la naturaleza responde a leyes y que la sociedad, en caso que responda, no lo hará con leyes semejantes a las que regulan los procesos físicos ni los biológicos. Entonces, ¿cómo entender el status científico de cualquier trabajo de investigación social cuando estas leyes son transpoladas o aplicadas desde las ciencias naturales? ¿Qué rasgos de científicas tienen entonces explicaciones sociales elaboradas a partir de leyes que no regulan procesos sociales sino naturales? ¿Es válido aportar a la construcción de *territorios posibles* con modelos científicos traídos de otras disciplinas? Si, aunque ello varía según los casos.

El problema de los territorios posibles para el paradigma dominante es que es diferente a estos cuestionamientos, en principio, por dos motivos: los territorios, los posibles y los imposibles, son una interpenetración compleja de procesos sociales, naturales y natural-sociales. El segundo problema reside en que si bien el paradigma dominante ha producido brillantes y notables avances en cientos de disciplinas científicas, en materia de salud, alimentación, ingeniería, industria, agricultura, nuevas tecnologías y muchos otros campos del saber, hasta el día de hoy, no ha podido producir conocimiento científico que pudiera dar respuesta a las inequidades sociales y despilfarros ambientales de toda la humanidad y nuestro planeta. La ciencia produjo grandes avances para una parte, pero aún no supo encontrarla para toda la Humanidad. Hoy por hoy, con todos sus esfuerzos, con sus avances brillantes y notables, la ciencia sigue abonando a unos territorios imposibles en la medida que no produzca soluciones para los 7500 millones de pares que somos. Además de cuidar más y mejor el ambiente, la ciencia, y con ella la civilización, tiene el deber de ayudar a todos y no a algunos. No se trata solo de una responsabilidad de nuestros gobernantes en los 194 países, ni de las Naciones Unidas.

El paradigma emergente: ¿Territorios posibles? Las cuatro tesis y sus justificaciones relacionadas con un paradigma emergente, no solo científico sino social, expuestas, originalmente en 1987, por Boaventura de Sousa Santos, son de una claridad asombrosa. Si consideramos —como el mismo de Sousa argumentara, parafraseando a R. Poirier, Heidegger y Hegel— que la coherencia global de nuestras verdades físicas y metafísicas, sólo se conoce retrospectivamente, entonces seguramente, en medio siglo o más, es muy probable que estas cuatro tesis enunciadas por de Sousa se irán conociendo, valorizando y aplicando retrospectivamente. ¿Aportan estas cuatro tesis a territorios posibles? Sin duda que sí. Ahora bien, sí y solo sí, hacemos algo para que ello ocurra. De lo contrario seguirán permaneciendo en el mundo de la entelequia y la teoría.

En resumen, sus **cuatro tesis** son las siguientes: "1. Todo el conocimiento científico natural es científico social; 2. Todo el conocimiento es local y total; 3. Todo el conocimiento





es autoconocimiento; y 4. Todo el conocimiento científico busca constituirse en sentido común.” (2009, pp. 41-57)²⁰

Sobre la **primera tesis** escribe de Sousa

El conocimiento del paradigma emergente tiende a ser un conocimiento no dualista, un conocimiento que se funda en la superación de las distinciones tan familiares y obvias que hasta hace poco considerábamos insustituibles, tales como naturaleza/cultura, natural/artificial, vivo/inanimado, mente/materia, observador/observado, subjetivo/objetivo, colectivo/individual, animal/persona. Este relativo colapso de las distinciones dicotómicas repercute en las disciplinas científicas que sobre ellas se fundaron. De otro modo, siempre hubo ciencias que se reconocieron mal en estas distinciones y tanto que se tuvieron que fracturar, para adecuarse de manera mínima. Me refiero a la antropología, a la geografía y también a la psicología. Se condensaron privilegiadamente en ellas las concepciones de la separación ciencias naturales / ciencias sociales. De ahí que, en un período de transición entre paradigmas sea particularmente importante, desde el punto de vista epistemológico, observar lo que pasa en esas ciencias (2009, p. 43).

En el caso de la geografía, sus milenarias tradiciones nomotéticas e idiográficas, así como su reciente enriquecimiento desde cosmovisiones apoyadas preferentemente en perspectivas neoclásicas, neomarxistas y fenomenológicas, son fiel reflejo del planteo expuesto por de Sousa. Las geografías físicas, biológicas y humanas—más nomotéticas—; las geografías regionales—claramente idiográficas— y cientos de geografías—geografía del hambre, del bienestar, del transporte, del fútbol, etc.— ponen en general el foco tanto en la dicotomía sociedad-naturaleza, como en ensayos de articulaciones y/o uniones naturales-artificiales en lugares, ciudades y regiones, respectivamente.

Asimismo, desde las décadas de 1960 y 1970, se pone mucho más énfasis en perspectivas teóricas que en la explicitación de las lógicas naturales y las lógicas sociales que constituyen la razón de ser de un territorio, entendido como construcción social e histórica sobreconstruida—o con frecuencia mal construida— sobre una construcción de la naturaleza puramente natural.²¹ A nuestro juicio, la Teoría Social Crítica del Espacio, con base en Milton Santos, luego de estudiada e interpretada de mil maneras por muchos investigadores,²² se irá constituyendo en las próximas décadas en una fuente ineludible para comprobar esta primera tesis enunciada por de Sousa.

Pero también

la superación de la dicotomía ciencias naturales / ciencias sociales, tiende a revalorizar los estudios humanísticos... La concepción humanística de las ciencias sociales en cuanto agente catalizador de la progresiva fusión de las ciencias naturales y las ciencias sociales coloca a la persona, en cuanto autor y sujeto del mundo, en el centro del conocimiento, pero, al contrario de las humanidades

20. Sugerimos, en el Capítulo 1 de las “Epistemologías del Sur”, disponible en internet, destinar un tiempo a las 16 páginas donde Boaventura de Sousa resume estas cuatro tesis del paradigma científico emergente. Es una buena manera de entender y aplicar una ciencia orientada a la construcción de unos territorios más posibles que imposibles. También en Bozzano “La ciencia y la gente” pueden consultarse estas cuatro tesis junto con una aplicación a un caso concreto: el EPTRM Estudio Preliminar de Transporte de la Región Metropolitana de Buenos Aires.

21. En el Capítulo 1 de Bozzano (2009) el lector puede consultar un ensayo de síntesis de estas tradiciones nomotéticas e idiográficas, así como también de las tres perspectivas consignadas.

22. Nuestra particular manera de interpretarla, luego de más de 10 años de intentar hacerlo, reconoce doce ejes de análisis (Bozzano, 2002), hasta que finalmente en este presente hemos optado por cuatro: los *sistemas de objetos y sistemas de acciones* (1) —cosas y relaciones juntas- hibridados en *técnicas* (2) naturales-artificiales, a su vez reconocidos en *acontecimientos en tiempo-espacio* (3) en procesos, y como parte de relaciones de *poder* micro-meso-macro con *acontecimientos homólogos, jerárquicos y complementarios* (4). Estos cuatro ejes de análisis con base en Milton Santos pueden analizarse *in extenso* en Bozzano (2009; 101-146) donde se trabajan una quincena de conceptos operacionales, así como ejemplos concretos.





tradicionales, coloca lo que hoy designamos por naturaleza en el centro de la persona... No está lejos el día en que la física de las partículas nos hable del juego entre las partículas, o la biología nos hable del teatro molecular, o la astrofísica del texto celestial, o aún la química de la biografía de las reacciones químicas... Juego, teatro, texto o biografía, el mundo es comunicación y por eso la lógica existencial de la ciencia posmoderna es promover la *situación comunicativa* tal como Habermas la concibe. En esta situación confluyen sentidos y constelaciones de sentido venidos, tal cual ríos, de las nacientes de nuestras prácticas locales y arrastrando consigo las arenas de nuestros cursos moleculares, individuales, comunitarios, sociales y planetarios (Sousa Santos, 2009: 46-47)

Si somos en alguna medida, aún no definida, átomo, molécula, individuo, comunidad, sociedad, planeta y cosmos, ¿por qué no reconocer entonces que esta visión superadora de conocimientos no dualistas contribuirá a que podamos construir y legitimar en el siglo XXI otras perspectivas de la ciencia más acordes con el planteo de esta primera tesis? De paso, ¿por qué no reconocer que los objetos de cada una de las más de mil disciplinas del catálogo de ciencias no son sino un recorte arbitrario de una parcela y un enfoque particular de la realidad? Estas dos cuestiones nos abren paso a la segunda tesis.

Sobre la **segunda tesis, a saber, todo conocimiento es local y social**, escribe de Sousa:

En el paradigma emergente el conocimiento es total, tiene como horizonte la totalidad universal de que hablara Wigner o la totalidad indivisa de la que habla Bohm. Pero siendo total, es también local. Se constituye alrededor de temas que son adoptados por grupos sociales concretos con proyectos de vidas locales, sean ellos reconstruir la historia de un lugar, mantener un espacio verde, construir un computador adecuada a las necesidades locales, hacer caer la tasa de mortalidad infantil, inventar un nuevo instrumento musical, erradicar una enfermedad, etc. Pero siendo local, el conocimiento posmoderno es también total porque reconstruye los proyectos locales, resaltándoles su ejemplaridad y por esa vía los transforma en pensamiento total ilustrado. (2009, p. 49).

Sobre el individuo, el lugar y el mundo, escribe Milton Santos que

los lugares pueden ser vistos como un lugar intermedio entre el Mundo y el Individuo, nos recuerda Z.Mlinar (1990, p.57), para quien la lógica del desarrollo de los sistemas sociales se manifiesta por la unidad de las tendencias opuestas a la individualidad y a la globalidad... Las propias necesidades del régimen de acumulación conllevan una mayor disociación de los respectivos procesos y subprocesos, esa multiplicidad de acciones haciendo del espacio un campo de fuerzas multicomplejo, gracias a la individualización y especialización minuciosa de los elementos de espacio: hombres, empresas, instituciones, medio ambiente construido, al mismo tiempo que se profundiza la relación de cada uno con el sistema del mundo. (2000, pp. 268-269).

Sobre la **tercera tesis, todo conocimiento es autoconocimiento**, escribe de Sousa:

La distinción sujeto / objeto nunca fue tan pacífica en las ciencias sociales como en las ciencias naturales y a eso mismo se atribuyó, el mayor atraso de las primeras en relación con las segundas. Al final, los objetos de estudio eran hombres y mujeres como aquellos que los estudiaban. La distinción epistemológica entre sujeto y objeto se tuvo que articular metodológicamente con la distancia empírica entre sujeto y objeto... (En algunos casos) la distinción epistemológica obligó que esta distancia fuese aumentada a través del uso de metodologías de distanciamiento: por ejemplo, el examen sociológico, el análisis documental y la entrevista estructurada... En el dominio de las ciencias físico-naturales, el regreso del sujeto fue ya anunciado por la mecánica cuántica al demostrar que el acto de conocimiento y el producto del conocimiento eran inseparables (2009, p.51).





Los contenidos de cuestionarios y mapas pueden realizarse tanto con nuestros conocimientos científicos previos, como con los conocimientos de los sujetos de los objetos. ¿Por qué generalmente no hacemos los cuestionarios y los mapas con los sujetos de cada objeto? ¿Será que nos resulta menos cómodo y más difícil? ¿Será que no estamos lo suficientemente predispuestos a aceptar que el autoconocimiento de cada sujeto sobre sus problemas, sus identidades, sus necesidades y sus sueños es tan valioso como nuestro conocimiento científico? ¿Será que no estamos aún en condiciones de hacer la suficiente *traducción* entre saberes científicos y otros saberes, los de los sujetos de nuestros objetos? Estamos volviendo al mismo problema, es un problema nuestro, no es de nuestro objeto ni de los sujetos de nuestro objeto.

Si podemos escuchar, interpretar, traducir y dar respuestas a problemas, identidades, necesidades y sueños de los sujetos más postergados y de los lugares más maltratados de cada objeto, a través de los sujetos que conscientemente quieren protegerlos, estaremos haciendo investigaciones científicas que despierten interés en los sujetos del objeto y que apunten a micro-transformaciones en conciencias, espíritus, miradas, acciones y objetos, ello en cada sujeto individual, en cada sujeto colectivo y en cada sujeto en relación más armónica con su territorio.

Aunque nos pueda parecer o resultar obvio, reconocer el sentido común de cada sujeto de nuestro objeto nos puede resultar más ilustrativo que investigar teóricamente, alejados de la realidad, guiándonos solo por estadísticas o textos científicos interpretativos de un proceso, estructura, sistema o modelo social, económico, cultural, político u otro. Tenemos mucho que aprender de cada uno de los saberes que durante siglos fueron minimizados o literalmente negados por la ciencia moderna.

Sobre la **cuarta tesis, todo conocimiento científico busca constituirse en sentido común**, escribe de Sousa:

La ciencia moderna produce conocimientos y desconocimientos. Si hace del científico un ignorante especializado, hace del ciudadano común un ignorante generalizado. Al contrario, la ciencia posmoderna sabe que ninguna forma de conocimiento es en sí misma racional; solo la configuración de todas ellas es racional. Intenta, pues, dialogar con otras formas de conocimiento dejándose penetrar por ellas. La más importante de todas es el conocimiento del sentido común, el conocimiento vulgar y práctico con que en lo cotidiano orientamos nuestras acciones y damos sentido a nuestra vida... El sentido común hace coincidir causa e intención, ..., es práctico y pragmático; ... es transparente y evidente; ... es superficial; ... es indisciplinario y ametódico; ... acepta lo que existe tal como existe; ... es retórico y metafórico; no enseña, persuade... la ciencia posmoderna al imbuirse de sentido común no desprecia el conocimiento que produce tecnología, pero entiende que tal como el conocimiento se debe traducir en autoconocimiento, el desarrollo tecnológico debe traducirse en sabiduría de la vida. Es ésta la que señala los marcos de prudencia a nuestra aventura científica.... Tal como Descartes, en el umbral de la ciencia moderna, ejerció la duda en vez del sufrir, nosotros, en el umbral de la ciencia posmoderna, debemos ejercer la inseguridad en vez del sufrir (2009, pp. 55-56).

El desafío es saber convivir con la incertidumbre y con el reconocimiento de todos los saberes no científicos. Si además aplicamos trabajo a leer cómo se pueden articular y cómo podemos contribuir a que decidan articularse saberes no solo diferentes sino poco conocidos entre ellos (ciudadanos, políticos, empresarios, científicos), entonces lo práctico, lo pragmático, lo transparente, lo evidente, lo indisciplinario y lo a-metódico podrá ser objeto de teorizaciones y de concreción de proyectos de investigación con métodos y herramientas. Para los sujetos del objeto serán más importantes los resultados que el colectivo termine eligiendo, para que, con teorías, métodos y herramientas, se





pueda llegar al resultado esperado. ¿Puede compararse la satisfacción por perpetuarnos en nuestros espacios de micro-poder en nuestras universidades con la satisfacción producida por un logro con los sujetos de nuestro objeto? Destinar tiempo y energía a los dos tipos de satisfacciones reducirá sin duda el tiempo destinado a una de las dos.

- 1- En los *territorios posibles* “todo el conocimiento científico natural es científico social” (de Sousa), debido a que todo conocimiento se produce invariablemente en un contexto sociológico de conocimiento. En contextos históricos como los de la Revolución Industrial, el régimen de Mao Tse Tung, la reciente ola neoliberal en América Latina o en tantos otros, cada contexto, en un balance general de los últimos cinco siglos, contribuyó a terminar produciendo unos territorios más imposibles que posibles, sino el planeta no estaría en el nivel de despilfarro ambiental que hoy tiene, ni tendría casi tres mil millones de seres humanos en las condiciones que están.
- 2- En los *territorios posibles* “todo el conocimiento es local y total” (de Sousa) dado que, replicando la ejemplaridad, no de manera nomotética ni con leyes científicas inapelables, en casos como los de Lengupá, Puente de Fierro, Ensenada-Berisso y, afortunadamente, en decenas de miles de casos más en marcha en todo el Planeta –con o sin sostén de la ciencia—, estaremos destinando energía y decisión a que los territorios posibles comiencen a dominar sobre los territorios imposibles. Lo local y lo total a modo de ejemplar y replicable –individualismo, consumismo, despilfarro, posverdades, etc.- produce en los sistemas hegemónicos actuales un dominio de los territorios imposibles sobre los posibles.
- 3- En los *territorios posibles* “todo el conocimiento es autoconocimiento” porque es necesario e ineludible comenzar cada proceso de IAP (Fals Borda) con las cuatro patas de la mesa de la Inteligencia Territorial, incorporando “...cooperación y conflicto, base de la vida en común” (Milton Santos, 1996), los “diálogos de saberes” (Paulo Freire, 1990), las “interfaces de conocimiento” (Norman Long, 2006) y las “ecologías de saberes” (de Sousa Santos, 2007) serán más discursivos que fácticos. Si no valoramos el autoconocimiento, entonces los territorios imposibles prevalecerán sobre los posibles.
- 4- En los territorios posibles “todo el conocimiento científico busca constituirse en sentido común” (de Sousa), o más bien, no es necesario que se constituya en sentido común, sino en el quehacer con vecinos, organizaciones, políticos y empresarios, en cada proyecto de IAP no podrá lograr derramarse en los territorios y sus gentes. De allí que el lenguaje es básico: no podemos comunicarnos con términos científicos, aunque detrás de nuestro diálogo estén presente nuestras teorías y conceptos. Sino apostamos al sentido común, entonces los territorios imposibles prevalecerán sobre los posibles.

Territorios posibles desde la gente. Antes de formularnos preguntas acerca del lugar que ocupa la gente, el ciudadano común, en el quehacer científico es oportuno considerar la propia naturaleza de nuestro objeto científico, para luego conocer qué gente, qué sujetos, integran cada objeto o proyecto.

Veamos algunos casos. Puede tratarse de una investigación en la microescala que incorpore desde su origen actores a su objeto: pequeños productores, empleados de una fábrica, ciudadanos organizados, un grupo de la tercera edad, mujeres vulneradas, etc. Puede tratarse de una investigación que ponga el foco en un proceso, modelo, estructura o sistema de alcance mucho más general: urbanización, industrialización, reestructuración económica, conflicto ambiental a gran escala, donde los sujetos de dichos procesos no serán tan explícitos. O bien puede tratarse de una investigación sobre





meso-procesos, por ejemplo, en ecohidrología, planes de vivienda, códigos urbanos, o muchos otros. En todos los casos, si es por territorios posibles, será menester indagar, conocer, sistematizar y explicitar los sujetos del objeto (la gente) para luego trabajar con ellos.

Sin embargo, aun trabajando en tesis o investigaciones próximas a (1), (2) o (3), nada garantiza que el investigador decida trabajar con los saberes de los sujetos, ciudadanos, de su objeto. Nuestro trabajo, tesis o proyecto de investigación, ¿cuán próximo de los sujetos de nuestro objeto se encuentra? Siendo un proyecto más orientado a un proceso, estructura, sistema o modelo donde los sujetos no están tan presentes o no son tan evidentes. ¿Estamos dispuestos a reconocer los sujetos representativos del proceso más general?, ¿en qué casos? ¿Los casos y los sujetos que seleccionemos son representativos del proceso general que estamos investigando? ¿Cómo hacemos para reconocer mediaciones y articulaciones entre los procesos más generales, los casos concretos y los sujetos?

Reconociendo estas mediaciones, nuestro trabajo permanecerá como objeto de investigación básica o ¿destinaremos parte de nuestro tiempo a que uno de nuestros casos sea también objeto de intervención? ¿Trabajaremos para que, aunque sea, en pequeña medida, de nuestro objeto de investigación básica surja un mínimo objeto de transformación? ¿Con qué sujetos comunitarios, políticos y empresarios trabajaremos para que nuestros objetos de intervención y de transformación no queden guardados en un repositorio o una biblioteca electrónica? En Puente de Fierro, Lengupá y Ensenada-Berisso-La Plata, intentamos día a día responder estas preguntas: con éxitos y sin ellos también.

Territorios posibles desde la ciencia o desde la gente. Con objetos alejados o próximos a la gente, es nuestra la decisión, como tesistas e investigadores, incorporar a los sujetos de nuestro objeto y, aunque sea en una pequeñísima medida, hacer que la ciencia, además de diagnosticar, problematizar, conocer, evaluar y criticar, haga algo concreto por unos territorios posibles aunque sea en una pequeñísima porción del planeta. Es nuestra la decisión dar respuesta a quienes más lo necesitan, no solo por haber desarrollado una vacuna, un alimento o una computadora, sino porque constituye un factor de co-construcción de personas en sujetos, de espacios en territorios y de ideas en proyectos, los tres con sustento científico.

¿Qué resultados damos, desde la ciencia, para la gente, además de producir artículos científicos? ¿Cómo están coadyuvando nuestros sistemas científicos con aportes concretos para resolver problemáticas sociales y problemáticas ambientales? ¿Cómo estamos promoviendo como investigadores científicos aportes concretos para resolver problemáticas sociales y problemáticas ambientales? En materia de resultados, más allá de nuestra producción científica, ¿qué proporción de los investigadores científicos estudian la perpetuación del statu quo propio del sistema y los subsistemas imperantes? ¿Qué proporción de los investigadores científicos estudian la resistencia al sistema dominante? ¿Qué proporción de los investigadores científicos estudian transformaciones al sistema dominante? ¿Qué proporción de los investigadores científicos estudian otros objetos de investigación que no encuadran en estas tres perspectivas? En caso que nuestra producción científica genere aportes directos o indirectos a la sociedad o el ambiente: ¿qué aportes hace la ciencia a la no-ciencia, o sea más del 99% que constituye el resto de la humanidad?, ¿sus aportes son a las grandes empresas? ¿Son a la carrera armamentista? ¿Son aportes constatables a la reducción de la pobreza? ¿Son aportes constatables al cuidado ambiental? ¿Son aportes a una educación que promueva el autoconocimiento y el cuidado al planeta? ¿Son aportes a la transparencia y la reducción de la corrupción?





En la actualidad, los sistemas científicos nacionales no sobresalen por disponer de una perspectiva acendrada que muestre una verdadera axiología de la producción científica, por micro-transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales, en el marco de millones de micro-procesos. Tampoco incorporan en su justa dimensión identidades, necesidades y sueños calibrados desde los ciudadanos de sus países. Hacerlo supone investigar y hacer *territorios posibles*, aunque sea en la micro-escala espacial, temporal y temática.

El caso de IAP en Argentina

El caso de IAP en Argentina comienza en 2013 en el Gran la Plata (Provincia de Buenos Aires) y poco después los resultados de la investigación básica polidisciplinaria derivan en treinta posibles investigaciones aplicadas con intervención y transformación. Desde 2016 estamos ejecutando dos de los treinta temas de Agendas Científicas Participativas (objetos de intervención y transformación): *Puente de Fierro con Inteligencia y Justicia Territorial*, en un barrio muy vulnerado de esta ciudad; y *Territorio, Industria y Ambiente*, en Ensenada-Berisso-La Plata, alrededor de la mayor refinería de petróleo de Argentina que, en principio, será hasta el año 2026.

Esto nace en el contexto del PIO, Proyecto de Investigación Orientado a la Emergencia Regional, con particular referencia a la Emergencia Hídrica en la aglomeración del Gran La Plata: La Plata, Ensenada y Berisso (Buenos Aires, Argentina). Fue una convocatoria realizada por nuestras autoridades académicas y científicas de la UNLP y el Conicet. El 2 de Abril de 2013 nuestra ciudad sufrió una catástrofe, la peor inundación de su historia: llovieron 392 mm en pocas horas, oficialmente murieron 90 personas; extraoficialmente más de 300. Con alarmante elocuencia, se evidenció la insuficiencia de políticas públicas desde hace más de un siglo. Así en cuatro años de IAP nuestro PIO UNLP-Conicet *Gestión Integral del Territorio*, se motorizó y ejecutó un objeto de investigación en sus tres fases (estudio, intervención y transformación) en dos zonas muy afectadas por dicha inundación, a saber, la Cuenca del Arroyo Maldonado y el área de influencia de los Canales del Puerto en Ensenada, Berisso y La Plata.

Hemos reconocido, desde el fatídico 2 de Abril de 2013, seis fases que nos permitieron hoy transitar este apasionante, complejo y transformador presente.²³ El abordaje teórico da cuenta del complejo proceso vivido desde la irrupción de una catástrofe en esta ciudad de 850 mil habitantes, con muchos rasgos en común con la mayoría de las ciudades latinoamericanas de escalas intermedias. Estimamos que los momentos presentados a continuación pueden ser de utilidad para construir abordajes semejantes en otros temas (geografía agraria, turismo sostenible, jóvenes e inclusión social, vivienda, alimentación, derechos, educación popular, comunicación, cuidado del ambiente, etc.), con Inteligencia, Desarrollo y Justicia Territorial. Se debe partir de la premisa de que gente y ciencia, a la par, pueden construir otras políticas públicas más ligadas a una gobernanza integrada que a tendencias de verticalidad y bajo grado de participación ciudadana real más que discursiva.²⁴

Para identificar estos momentos de un proceso de trabajo y transformación permanente —principalmente con Tomás Canevari— fuimos analizando, escuchando, aprendiendo

23. Pueden consultarse estos seis momentos en el Informe final PIO en los links de los mencionados Observatorio OMLP y la Red Territorios Posibles, Praxis y Transformación

24. En nuestra Red Latinoamericana Territorios Posibles en Inteligencia y Justicia Territorial participan o han participado 48 Universidades latinoamericanas. En diez años de fecunda escucha y aprendizaje hemos identificado los siguientes temas todos ellos posibles de trabajar a largo plazo para que con la gente y la ciencia a la par, podamos construir otras Políticas Públicas.





y buscando cuáles serían los ejes centrales de cada momento de tan complejo trabajo colectivo, conociendo las motivaciones de cada una de las acciones realizadas entre todos. En buena medida reconocimos los *explanans*, algo así como los factores explicativos o interpretativos que nos ayudaron a descifrar los por qué de cada momento, procurando escaparnos de nuestra burbuja científica y también de nuestra perspectiva disciplinar: la geografía, la comunicación social, la química, la ingeniería, la psicología, la historia y muchas otras disciplinas participantes. En resumen, los momentos son: 1. Un territorio latinoamericano y un hecho disruptivo, 2. Una iniciativa solidaria entre muchas, 3. Un objeto de estudio multidimensional y complejo, 4. La artesanía de la intervención, ejemplar y replicable, 5. Agendas Científicas Participativas, trabajo permanente y organizado, y 6. Política Pública y Ciencia Pública con la gente, un ejercicio permanente de gobernanza integrada o de co-gestión integral del territorio.

Un territorio latinoamericano y un hecho disruptivo.

En América Latina las ciudades en sus diversos rangos (metrópolis, ciudades intermedias, ciudades locales, pueblos) tienen actualmente muchos más rasgos en común que hace medio siglo. En el caso del Gran La Plata, como ha venido ocurriendo con la mayor parte de las ciudades intermedias en Argentina, éstas han venido atravesando un proceso de “latinoamericanización”,²⁵ donde la fuerte matriz del poblamiento europeo entre 1860 y 1930, ha ido conviviendo con el poblamiento de criollos y pueblos originarios principalmente de Argentina, Paraguay, Bolivia, Perú y Chile.

Hoy en La Plata convive la ciudad europea, higienista y racionalista, con la ciudad latinoamericana. En las últimas tres décadas, el Gran La Plata tiene entre un 25 y un 30% de población en condiciones de pobreza. Asimismo, algunos hechos disruptivos han atravesado muchas ciudades de América Latina: no solo trágicas inundaciones como la nuestra, también terremotos, aludes, tsunamis, explosiones en grandes industrias y ductos, atentados y otros fenómenos. En este caso la disrupción caótica que produjo la inundación, disparó esta loable iniciativa de la UNLP y el Conicet por primera vez en la historia de nuestra ciudad universitaria.²⁶ ¿Qué hubiera ocurrido si no nos hubiéramos inundado? Es cierto que la inundación dejó traslucir no solo la ineficiencia en materia de Políticas Públicas, sino el escasísimo grado de sensibilización social ante estos eventos y la baja respuesta de los gobiernos a numerosas investigaciones, mayormente sectoriales, realizadas por científicos locales durante el último siglo.

Pensar este acontecimiento disruptivo, violento, que desdibujó las certezas sobre las que se asienta el orden social, e irrumpió en todos los órdenes de la vida social urbana, en la esfera de la vida cotidiana, así como también en las relaciones sociedad-gobierno, no nos sesga la mirada hacia el tema del riesgo hídrico, sino que nos permite contemplar la Gestión Integral del Territorio. De allí la confluencia entre la “emergencia regional” en general y la “emergencia hídrica” en particular; ambos fueron temas de la convocatoria PIO UNLP-Conicet de 2014.

25. “Si bien los países de América Latina tienen puntos en común en el proceso de conformación de sus sociedades, es posible reconocer actualmente rasgos idiosincrásicos que los diferencian. En este presente han intervenido al menos tres instancias o momentos históricos -en resumen, comunidades aborígenes, mestizaje iberoamericano y aporte migratorio de ultramar- de un proceso socio-económico que fue sobreconstruyendo de manera permanente y sinuosa una compleja identidad latinoamericana en la que hoy podemos reconocer matices socio-culturales según países y regiones... Es muy probable que en esta década comience a consolidarse un cuarto momento socio-demográfico insinuado desde hace más de treinta años; a este lo denominamos de “latinoamericanización” de la población” (Bozzano;2002:113)

26. Un rasgo distintivo de La Plata es que se trata de una de las ciudades universitarias más importantes de América Latina: más de 105.000 (según Informe Anual Comparado de Indicadores de la UNLP de 2016) de sus 650.000 habitantes (dato INDEC) son estudiantes universitarios.





¿Cómo las relaciones entre comunidad, científicos, decisores políticos y empresarios pueden contribuir a co-construir agendas de intervención donde cada uno aporte sus saberes orientados a lograr micro y macro transformaciones, en particular en los sectores más vulnerables? Tal vez esta pregunta fue la motivación de lo que luego hicimos.

Una iniciativa solidaria entre muchas.

Cualquier hecho disruptivo dispara amores y miserias. Solidaridad, cooperación, altruismo e interés colectivo conviven con robos, saqueos, egoísmos y protagonismos: siempre presentes el amor y las miserias. Fue el caso de La Plata donde —afortunadamente— prevaleció la solidaridad antes que los egoísmos. Hoy, años después de la fatídica inundación, todavía hay grupos autoorganizados que están ayudando a los inundados del 2017 en diversos lugares de Argentina. En aquel entonces (Abril y Mayo de 2013) estimamos que hubo más de un centenar de iniciativas solidarias: entre ellas, integramos la denominada *La Plata con Inteligencia Territorial*, impulsada desde la UNLP y el Conicet a través de TAG y Territorios Posibles.²⁷ Sin haberlo planificado *La Plata con IT* fue el pacto fundacional de este PIO²⁸. En *La Plata con IT* tuvimos la oportunidad de conocernos, escucharnos, abrírnos, transformarnos. Pusimos a prueba una de nuestras cuatro hipótesis centrales de la Inteligencia y la Justicia Territorial: aquella referida a las transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales.

Un objeto de estudio multidimensional y complejo.

El objeto de estudio²⁹ o investigación básica fue más bien un macroobjeto de estudio: las problemáticas sociales y ambientales en la Cuenca del Arroyo Maldonado y en el área de influencia de los Canales del Puerto La Plata, en los Municipios de La Plata, Ensenada y Berisso con particular énfasis en la última década abordadas desde la perspectiva epistemológica de la Inteligencia y la Justicia Territorial. Llevó aproximadamente seis meses construir el objeto de estudio, en mayor medida porque fue muy complejo acordar entre 50 científicos y tesistas de disciplinas muy diversas.³⁰ De su multidimensionalidad, coherente con la visión integral del territorio que aplicamos, elegimos dos de los cinco componentes de las patas y la tabla de la mesa: lo social y lo ambiental.³¹

La metodología del PIO fue elaborada siguiendo los tres criterios básicos propuestos por Lazarsfeld. “La metodología examina las investigaciones para explicitar los procedimientos que fueron usados, los supuestos subyacentes, y los modos explicativos ofrecidos” (Lazarsfeld et al., 1972, en Marradi, Archenti y Piovani, 2007, p.53). Dicho en otras palabras, herramientas (procedimientos), teorías (supuestos subyacentes) y explanandum o capítulos del proyecto (modos explicativos ofrecidos) dan un sentido más cabal a cada metodología, articulando o mejor principios, teorías y acciones.

27. <http://territoriosposibles.fahce.unlp.edu.ar/noticias/la-plata-con-inteligencia-territorial>

28. Concepto tomado de Rene Kaes, en *La psicopatología y los lugares institucionales*, trabajado por Clarisa Voloschin y Horacio Bozzano desde 2002. Publicado en Bozzano (2009, 132-135) Parte de este *pacto fundacional* fue la preocupación generalizada por el incendio producido en la Refinería YPF y la desatención histórica de la Cuenca del Maldonado. <https://www.youtube.com/watch?v=8e3KgmGW1qE> <https://www.youtube.com/watch?v=651kGRxB0vU>

29. Entendemos al objeto de estudio a partir de la presencia de cuatro componentes planteados por Gastón Bachelard en su obra *La formación del espíritu científico*: la articulación entre dos o tres conceptos, el privilegio unas pocas dimensiones de análisis, el establecimiento de un recorte de la realidad espacial y temporal y el reconocimiento de una concepción teórica dominante.

30. Química, Bioquímica, Ingenierías diversas, Geografía, Historia, Psicología, Antropología, Comunicación Social, Geología,

31. Hubo otros dos aspectos que orientaron la elección de este objeto de investigación: 1. Entre todos los territorios inundados, elegimos aquellos que las instituciones públicas y la producción científica le venían dando menor atención relativa en el último medio siglo; y 2. Ello coincidió con la presencia de actores sociales que se acercaron a “La Plata con Inteligencia Territorial” y que coincidentemente eran de estos lugares.





Figura 5: Zonas de estudio en el Gran La Plata: la cuenca de los Arroyos Maldonado y Zoológico, los Canales del Puerto y sus áreas de influencia (Partidos de La Plata, Ensenada y Berisso, Bs As)
Fuente: Elaboración Proyecto PIO Gestión Integral del Territorio con base en Google Earth

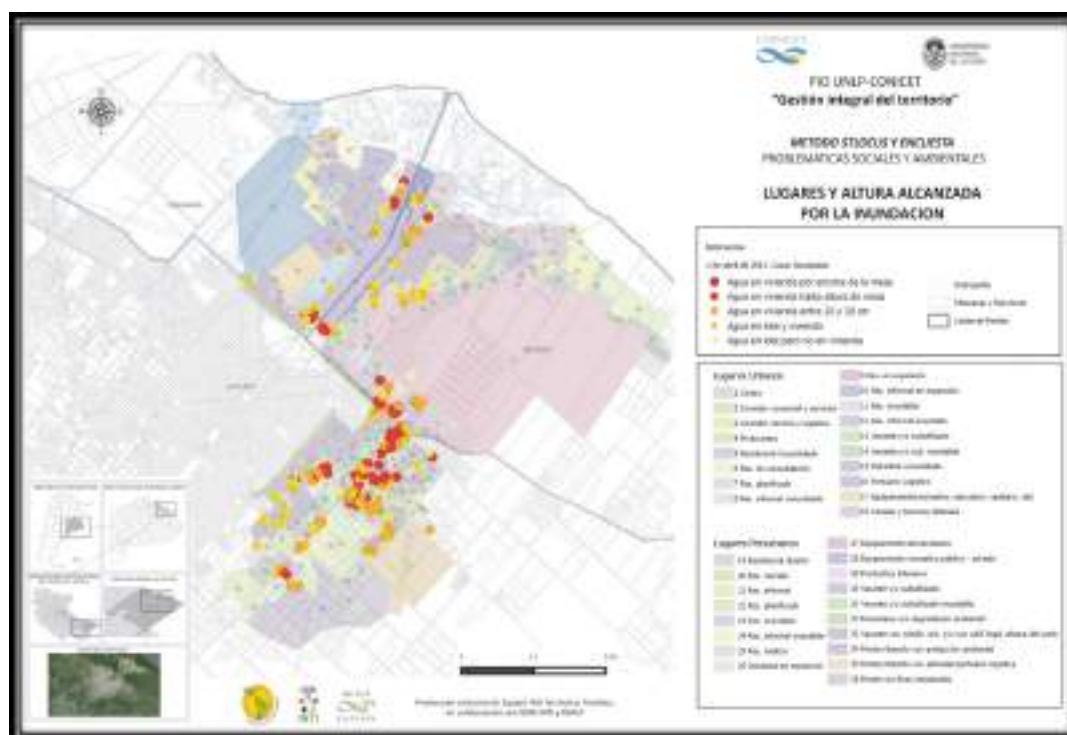


Figura 6: Zonas de estudio ampliadas.
Fuente: Bozzano, H y T.Canevari (2017)

Aplicamos la tercera triangulación propuesta en 2012 para la Inteligencia Territorial latinoamericana: ningún objeto de investigación complejo, que pretenda aportar soluciones y alternativas, puede obviar la consideración de aportes de teorías sociales, teorías territoriales y ambientales y de teorías de la transformación. Esta última está relacionada tanto con el objeto de estudio como con el objeto de intervención y transformación.³² Cada abordaje teórico se operacionaliza con métodos y técnicas coherentes con cada teoría. En resumen la Metodología del PIO fue la siguiente:

32. En "Inteligencia Territorial" (2012) publicamos cinco triangulaciones entre la ciencia y la gente. La primera más paradigmática, la segunda más teórica, aquí aludida, mientras que las otras tres refieren a las tres fases del objeto de investigación: estudio, intervención y transformación (Bozzano; 2012:90-118)



Figura 7: Zonas de Agendas Científicas desde 2016.

Fuente: Bozzano, H y T.Canevari (2017)

<i>Teorías Sociales: Métodos Catalyse y SPSS + Entrevistas</i>	<i>Teorías Territoriales y Ambientales: Método Stlocus</i>	<i>Ciencias Exactas y Naturales (asociados a Teorías Territoriales): Métodos y técnicas variados</i>	<i>Teorías de la Transformación: Método Territorii</i>
<i>Conformación del grupo interdisciplinario e interactores</i>	<i>Conformación del grupo interdisciplinario e interactores</i>	<i>Medición de aguas. Resultados</i>	<i>Territorios Reales</i>
<i>Cuestionario (19 versiones)</i>	<i>Macrovariables (10 mapas temáticos) Variables no espacializables</i>	<i>Medición de aire. Resultados y propuestas</i>	<i>Territorios Vivos</i>
<i>Ejecución de 753 encuestas</i>		<i>Medición de suelos. Resultados</i>	<i>Territorios Pasados</i>
<i>80% en tramos más inundados y 20% en polígonos menos inundados</i>	<i>Pre-lugares (usos del suelo reales agregados)</i>	<i>Medición de ruidos. Resultados</i>	<i>Territorios Legales</i>
<i>Resultados ambientales SPSS</i>	<i>Resultado 1 : 36 Lugares</i>	<i>Medición de vibraciones. Resultados</i>	<i>Territorios Pensados</i>
<i>Resultados sociales SPSS</i>	<i>Resultado 2: matriz- síntesis</i>	<i>Quitosano en canales. Resultados y propuestas</i>	<i>Territorios Posibles</i>
<i>Resultados Anaconda Catalyse (6 agrupamientos) Entrevistas individuales y grupales</i>	<i>Resultado 3: fichas de intervención</i>	<i>Camalotes y metales pesados. Resultados</i>	<i>Territorios Concertados</i>
<i>Otras actividades</i>	<i>Otras actividades</i>	<i>Ladrillos con material reciclado Otras actividades</i>	<i>Territorios Inteligentes</i>

Figura 8: Teorías, métodos y técnicas en el PIO "Gestión Integral del Territorio"

Fuente: Bozzano, H y T.Canevari (2017)



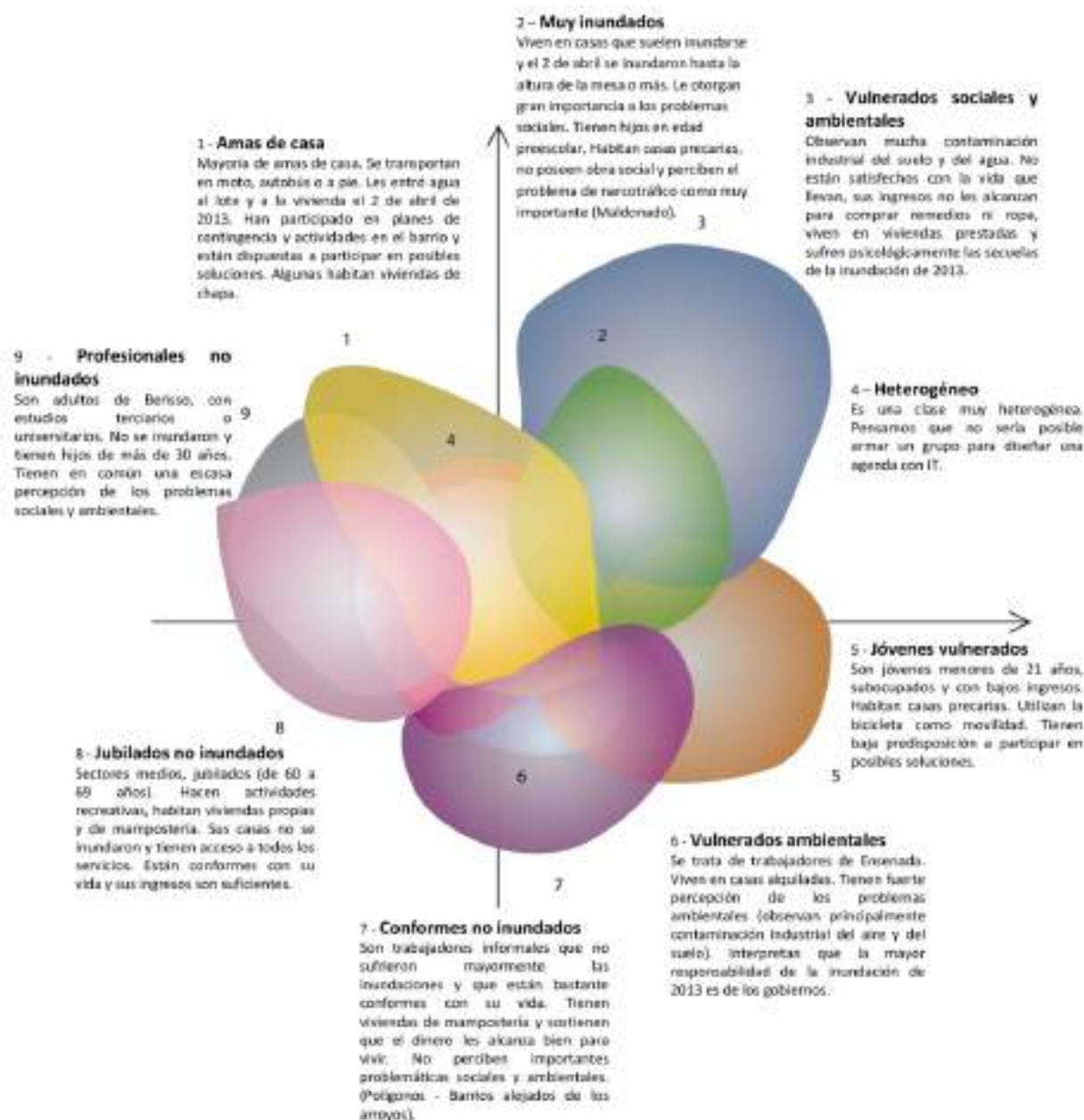
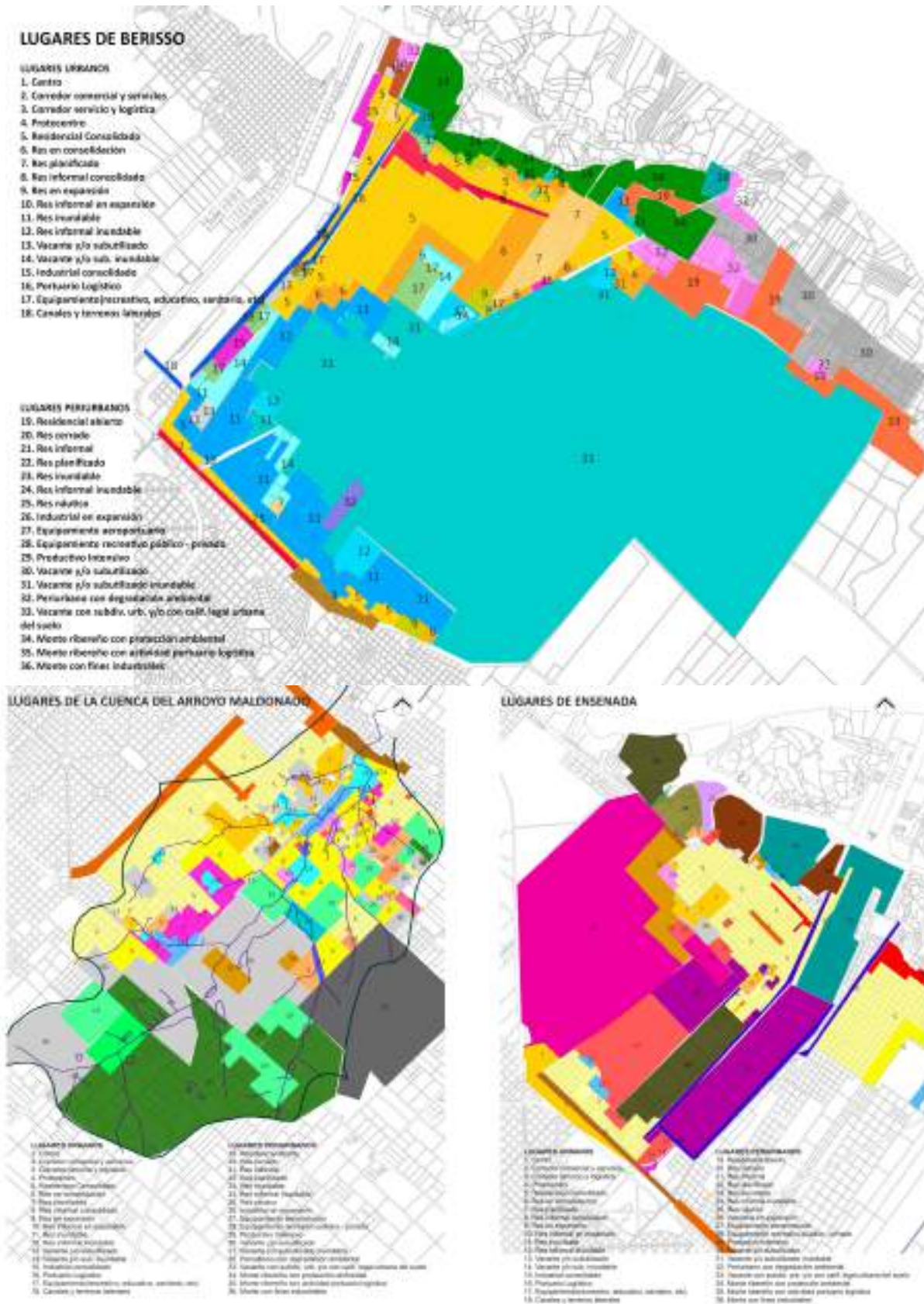


Figura 9: Algunos resultados

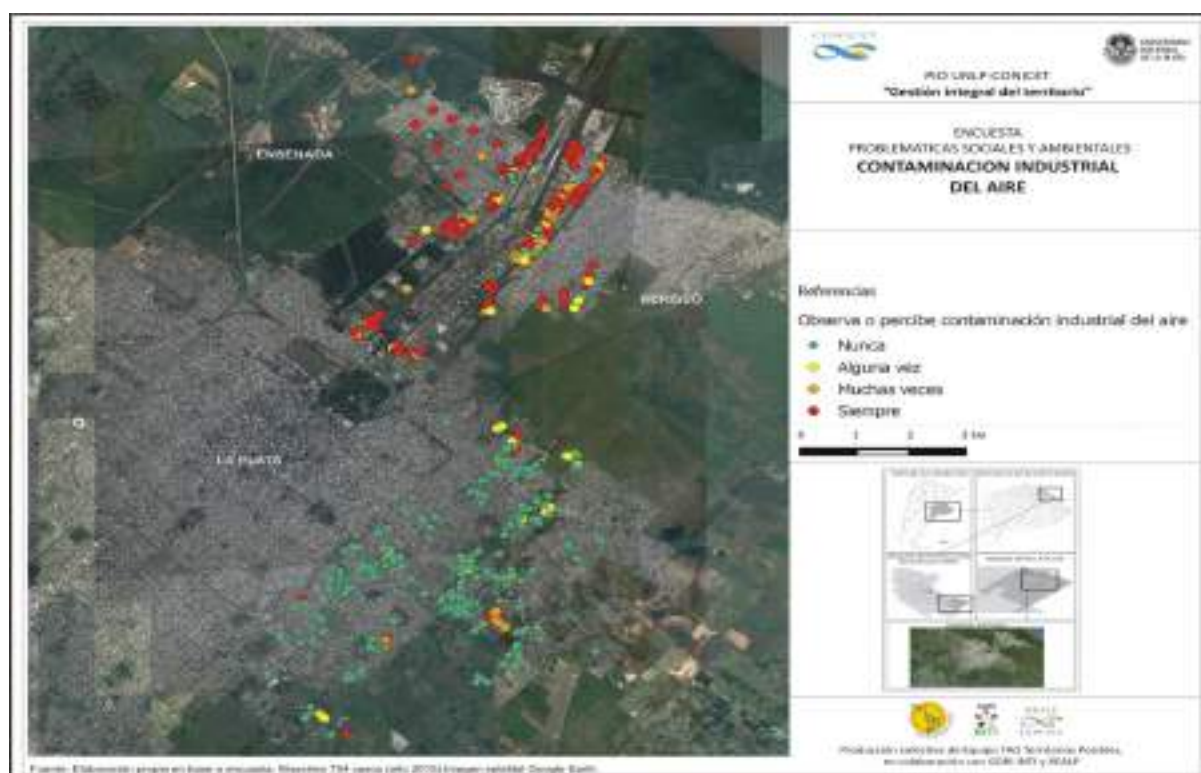
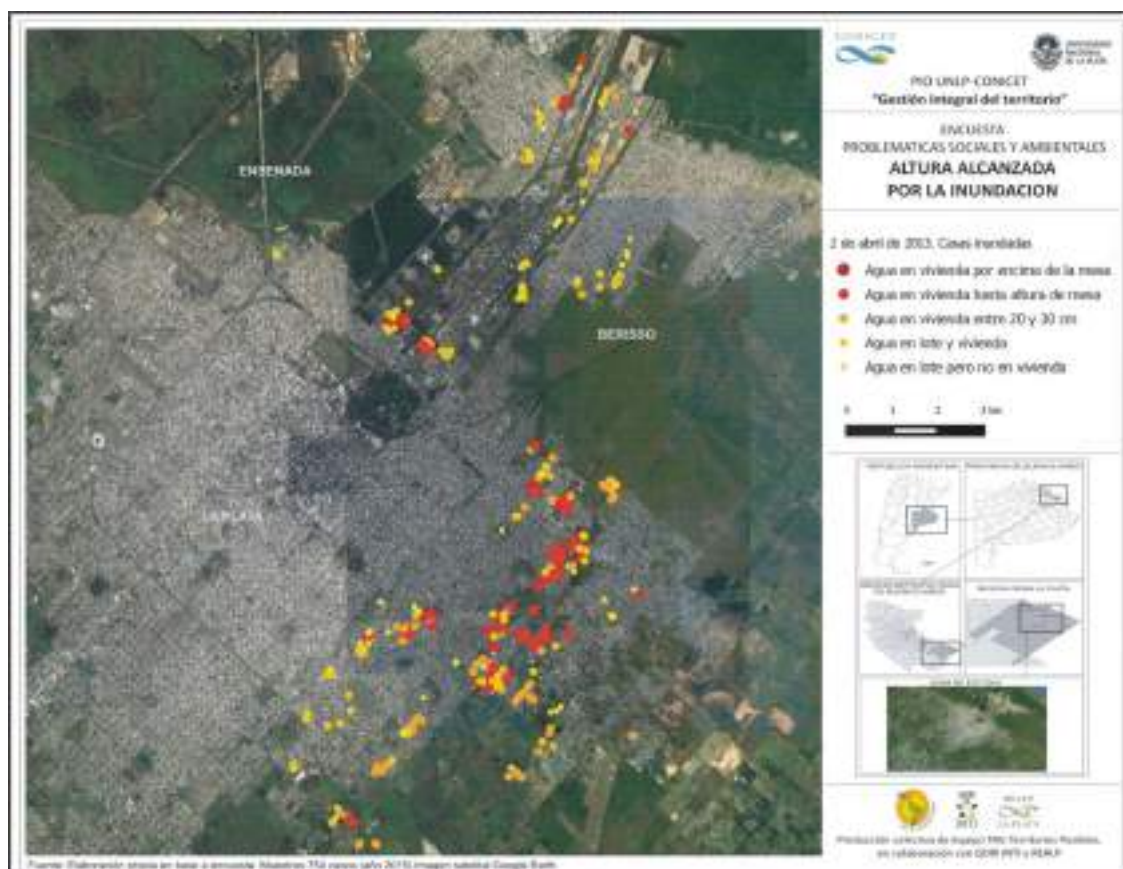
Fuente: Bozzano, H y T.Canevari (2017) Realización TAG IdIHCS e INTI Network



Figuras 10, 11 y 12: Algunos resultados del Método Stlocus del Método Catalyse.

Fuente: Bozzano, H y T.Canevari (2017) Realización TAG IdIHCS e INTI Network





Figuras 13 y 14: Algunos resultados de la georreferenciación de la encuesta
Fuente: Bozzano, H y T.Canevari (2017) Realización Gastón Cirio



La artesanía de la intervención, ejemplar y replicable. Fue un trabajo artesanal macerar, madurar, seleccionar, desechar, acordar y co-construir lo que finalmente serían nuestros tres objetos de intervención y transformación. Los seleccionamos entre treinta temas de Agenda. Pensamos que era clave su ejemplaridad y replicabilidad en América Latina, dado las grandes dificultades que vamos atravesando en nuestros países y la utilidad que pueden tener para otras investigaciones. El objeto de intervención y transformación es la co-construcción y ejecución de Agendas Científicas o instrumentos semejantes y Mesas de Trabajo u otras modalidades de trabajo permanente, ambas ejemplares y replicables —al menos en América Latina—, definibles con los resultados del proceso de investigación complejo, contradictorio, cooperativo, multidimensional, polidisciplinario, participativo e interactores comenzado desde antes del inicio del PIO el 8 de Abril de 2013, y a la vez productoras de contenidos para co-construir Políticas Públicas con Inteligencia y Justicia Territorial.

Registramos treinta ideas y/o temas de Agendas emergentes, de acuerdo con su perspectiva. Los clasificamos en cuatro grupos: I- Ideas y temas de agenda emergentes desde las ciencias naturales, II- desde las ciencias exactas; III- desde las ciencias sociales; y IV-Ideas y temas emergentes desde organizaciones, comunidades, instituciones y empresas, que se complementan con nuestro macroobjeto de investigación, y con nuestros objetos de intervención y transformación.³² Finalmente seleccionamos los tres siguientes: “Urbanizaciones informales”, “Territorio, Industria y Ambiente” y “Tierras vacantes suburbanas” (ver FIGURA 2)

Agendas Científicas Participativas, trabajo permanente y organizado. Luego de un año de lectura y análisis sobre modalidades de trabajo, orientadas a co-construir políticas públicas con iniciativas emergentes desde un paradigma científico emergente, optamos por hacerlo con agendas científicas, mediante mesas de trabajo permanentes. Cada mesa de trabajo consiste en un encuentro mensual, donde vecinos, representantes de organizaciones sociales y ambientales, funcionarios públicos de diversas esferas, empresarios y científicos ponen en discusión las problemáticas relevadas en el proyecto de investigación.

Las mesas de trabajo se desarrollan con temarios acordados previamente y se documentan con registro de audio y en afiches elaborados en el momento. Estos afiches se leen y se aprueban al cierre de cada mesa para confirmar si dan cuenta de las posturas y los acuerdos establecidos entre los participantes. Cada mesa de trabajo tiene su momento previo de convocatoria, planificación y gestión. Si bien son abiertas, se trabaja por promover la participación y por acercar al encuentro a funcionarios o especialistas en la materia sobre la cual se va a trabajar. A su vez, tienen una lógica de cooperación, de puesta en común, de conocer más al otro. Para ello, las mesas no tienen un lugar fijo de realización sino que rotan. Al final de cada mesa se define fecha y lugar para la siguiente convocatoria.³³

Así mismo, hay también un mientras tanto. Entre las mesas hay bastante trabajo, para avanzar con las responsabilidades asumidas por las partes durante la reunión, por cumplir y moderar para que se cumplan los acuerdos establecidos y que la mesa siguiente

32. Los 30 temas o ideas pueden consultarse en el link correspondiente al Observatorio OMLP.

33. De esta manera, funcionarios públicos de un municipio deben reunirse en sedes de un municipio ajeno o visitar zonas de barrios que no suelen recorrer; referentes barriales de una agrupación deben recibir a otras organizaciones en su espacio; los científicos interactúan donde los otros actores son anfitriones; y vecinos no agrupados bajo una organización transitan su barrio y conocen los espacios de organización barrial cada cual con sus ofrecimientos de capacitación, cooperativas barriales, comedores comunitarios, copas de leche, apoyo escolar, etc.





comience con avances, con logros que nos permitan seguir construyendo confianza y transformación.

En estos espacios se dan verdaderos procesos dialógicos y concientizadores para que a través de la praxis asumamos el papel de sujetos de la historia. No son objetos, sino sujetos protagonistas en un proceso dialógico. Tenemos en cuenta que la conciencia y la voluntad de los sujetos como constructores de historia consiguen mostrar los problemas pero no los resuelven por sí solos. También somos conscientes que la transformación de las realidades debe tener a los sujetos como principales protagonistas activos.

El objetivo entonces se cumple en la medida en que los actores sociales sean partícipes del proceso investigativo, aporten en el diagnóstico de problemáticas y necesidades y sean protagonistas de la toma de decisiones. Hay intereses que no van a ponerse de acuerdo. Un gran proceso de discusión no asegura un acuerdo general porque la comunicación es también conflicto. En la política y en la comunicación está siempre presente un antagonismo potencial. Pero reflexivos de ello, podemos buscar alternativas en un marco de respeto, de trabajo permanente y organizado.

Dos Agendas Científicas se han ido consolidando al cabo de tres años de investigación aplicada conjunta. Entre Mayo 2016 y Agosto 2017, hemos realizado un buen número de actividades: mesas de trabajo previas, mesas de trabajo técnico, mesas de capacitación en Puente de Fierro; y lo que denominamos *mesas de trabajo permanentes*, 13 en Puente de Fierro³⁴ y 10 en Ensenada-Berisso-La Plata.³⁵

Por falta de tiempo y recursos económicos, no hemos podido, por el momento, hacer Mesas de Trabajo permanentes en la Agenda Científica Participativa de Villa Elvira. Al momento hemos podido avanzar notablemente en la construcción de contenidos de sendas Agendas Científicas en marcha, los cuales están relacionados con las cuatro hipótesis en las que venimos investigando hace tres décadas, las cuales se exponen en el último ítem de este trabajo. A la vez los resultados están siendo analizados e interpretados por nuestro equipo de investigación en relación con la co-construcción de políticas públicas, según grados de participación de qué Estado, grados de compromisos de quiénes y otras variables.

34. En el caso de la Agenda Científica *Puente de Fierro con Inteligencia y Justicia Territorial*, en el intenso y largo trabajo de escucha e interacción, se incorporaron 26 temas por parte de vecinos y referentes. Estos 26 temas hoy trabajados en términos de *Política Pública* refieren a la Gestión Integral del Territorio. En resumen son: 1. terrenos (situación dominial), 2. micros y paradas, 3. pavimentación de calles, 4. conexiones seguras y paneles eléctricos, 5. seguridad, 6. cloacas, 7. agua corriente y 8. capacitación en oficios, 9. huertas comunitarias, 10. educación primaria, 11. cooperativas de trabajo, 12. inundaciones, zanjeo y desagües pluviales, 13. espacios públicos y esparcimiento, 14. veredas, 15. "numeración barrial" (nomencladores de calles), 16. centros de salud, 17. referentes barriales, 18. historia, identidad, 19. basura y reciclado, 20. salud: acciones de prevención, 21. salud: animales (zoonosis), 22. jardín maternal, 23. educación secundaria, 24. educación: pre jardín y jardín, 25. presupuesto participativo, 26. "luz pública" (luminarias), y otros en análisis que siguen surgiendo.

35. En el caso de la Agenda Científica *Territorio, Industria y Ambiente*, al momento hemos identificado cinco macro-temas o macro-objetos de investigación (estudio, intervención y transformación), los cuales, a su vez, incluyen temas u objetos citados entre paréntesis: **I-Ordenamiento Territorial** (1. Expansión Industrial en la Planicie Querandina, 2. Expansión Urbana en la Planicie Querandina, 3. Qué hacer con la Autopista Buenos Aires-La Plata en la Planicie Querandina, 4. Reserva Ambiental Provincial de Isla Santiago, 5. otros en análisis). **II-Ambiente y Territorio** (6. Hidrocarburos, Quitosano u otras alternativas, 7. Terraplén Costero de Berisso, 8. Barros de los Canales del Puerto, 9. Parques Públicos en la Planicie Querandina, 10. otros en análisis). **III-Ambiente y Salud** (11-Salud relacionada con Particulados: Copetro, otras empresas; 12. Salud relacionada con inhalados: YPF, otras empresas; 13. otros en análisis). **IV-Riesgos Sociales y Ambientales** (14. Por inundaciones en eventos extremos en la Planicie Querandina, 15. Por explosiones: "esferas de gas" de YPF en El Dique, 16. otros en análisis); y **V-Derechos Sociales y Ambientales**: 17. Pérdida de biodiversidad, 18. Inversión pública suplementaria en salud, 19. Reducción de capacidad de fuerza laboral por incremento de enfermedades crónicas pulmonares, 20. otros en análisis)





Figuras 15 y 16: Agenda Científica y Mesa de Trabajo "Puente de Hierro con Inteligencia y Justicia Territorial". Fuente: Bozzano, H y T.Canevari (2017) TAG IdHCS UNLP-Conicet





Resultados en la Agenda y Mesa Puente de Fierro. Entre Mayo 2016 y Abril 2019 hemos realizado 33 Mesas de Trabajo Permanente, además de 87 encuentros, reuniones, talleres y salidas para encuestas y entrevistas. Los resultados están siendo evaluados por nuestro Programa TAG IdIHCS UNLP-Conicet, en términos de las cuatro hipótesis con las cuales concluye este texto.

1) El resultado más importante radica en la voluntad de las distintas organizaciones, comedores e instituciones del Barrio (entre 22 y 31 según los criterios y según lo que hemos indagado y conocido), de trabajar en los próximos años en simultáneo en tres planos: a) el mantenimiento de la identidad de cada grupo, y el respeto por su filiación política, religiosa, social, comunitaria u otra en cada organización, b) el reconocimiento a los vecinos del barrio que en el censo nos informaron que no se sienten parte de ninguna organización, y c) aunque reconocen que no es sencillo, la decisión de trabajar a la par por el Barrio, manteniendo la identidad de cada grupo y sujeto.

2) Otro resultado está relacionado con el rol que el mismo proceso de IAP contribuyó a madurar, macerar y decantar. El quehacer como mesa de trabajo permitió visibilizar y demostrar, con hechos, que los protagonistas fueron los referentes y vecinos que decidieron participar en distintas fases del proceso; mientras nuestro Programa TAG IdIHCS UNLP-Conicet desde el PIO adquiría gradualmente un rol de coordinador, en el real sentido del término, es decir, co-ordenar junto con la gente del barrio, construyendo en conjunto los acuerdos. Pautas de ello fueron la respetuosa convivencia con la Mesa Barrial, y ahora con la recientemente creada Mesa Vecinal. También el respeto por el tema más importante de la agenda de 26 temas referidos a sus identidades, necesidades y sueños, elaborada en 12 reuniones de trabajo: "Situación Dominial".

Tres años después, hoy hay referentes y vecinos que ahora sí están proponiendo dedicar tiempo a esta problemática desde la Mesa de Trabajo. Esta praxis refuerza la premisa de las cuatro patas de la mesa de la Inteligencia Territorial latinoamericana en los hechos.



Figuras 17, 18, 19 y 20: Principales logros de la Agenda Científica y Mesa de Trabajo "Puente de Fierro con Inteligencia y Justicia Territorial". Censistas de la Escuela de Enfermería del Hospital San Juan de Dios, La Plata

Fuente: Realización Programa TAG IdIHCS UNLP-Conicet con vecinos y referentes





3) Un resultado fue el acuerdo en continuar profundizando en 3 de los 26 temas de Gobernanza Urbana Integrada de nuestra Agenda Científica Participativa, elegidos por el colectivo participante. Los mismos actores los denominaron tema “público”, “social” y “económico”.

En cuanto a la valorización pública se decidió trabajar en conjunto para que la totalidad de las cuerdas del barrio tengan veredas y no solo una parte, como se está haciendo en el presente con un Programa de Inversión del gobierno nacional. Asimismo, ello se propone realizar, con unas fibras plásticas que reemplazan a las varillas de hierro, bajando los costos y protegiendo el medio ambiente. En cuanto a lo social se decidió hacer la Revista de todo el barrio, la cual ya fue planificada y se encuentra en plena ejecución. Respecto de lo económico, la tarea es más ardua: con los resultados del Censo se está elaborando un informe para, con los referentes barriales, ingresar una solicitud por expediente en cuatro ministerios: dos nacionales y dos estatales (o provinciales): Ministerios de Trabajo y de Desarrollo Social para ejecutar planes de capacitación en un buen número de habitantes que está desocupada o subocupada.

4) Otros resultados y logros pueden consultarse en las figuras 15 a 18, así como en los links públicos del OMLP y la red científica citados.

Resultados en la Agenda y Mesa “Territorio, Industria y Ambiente”. Entre Abril de 2013 y Abril 2019 hemos realizado más de 110 actividades de trabajo presenciales (convocatorias de “La Plata con Inteligencia Territorial”, entrevistas, talleres, mesas de trabajo, trabajo en terreno) con organizaciones sociales, ambientales, funcionarios públicos, científicos y empresarios en aquello que finalmente en Octubre de 2016 comenzó a funcionar como Agenda Científica y Mesa de Trabajo permanente. A ello hay que sumar 165 y 183 encuestas realizadas en Ensenada y Berisso respectivamente en un cuestionario con 173 variables comprendidas en 4 ejes: social, ambiental, problemas y percepciones y trayectorias participativas.

Los tres principales resultados de las 30 Mesas permanentes ejecutadas refieren al tratamiento de 4 de los 17 temas de la Agenda Científica: 1) Adsorción de Quitosano en Hidrocarburos, 2) Contaminación Industrial y Salud, y 3) Prolongación de la Autopista Buenos Aires-La Plata en Ensenada y Berisso. El cuarto tema, recientemente introducido a la Agenda Científica, es “Contaminación en los Canales del Puerto”.

Si bien ambas Mesas son de Gobernanza Territorial (o Urbana) Integrada o de Gestión (o Cogestión Integral del Territorio), la naturaleza de esta mesa es muy diferente a la de Puente de Fierro, debido a que en este caso las “cuatro patas de la mesa” de la Inteligencia Territorial participan activamente en escenarios con frecuencia complejos.³⁶ Las empresas y las organizaciones de base no tienen los mismos registros, intereses, cosmovisiones ni criterios; los funcionarios públicos tampoco. En los científicos, con frecuencia, suele prevalecer su sesgo disciplinar en desmedro de una visión algo más integrada.

36. En la Mesa de Puente de Fierro participan prioritariamente organizaciones, vecinos, científicos y tesis, y en ocasiones funcionarios públicos; la presencia de la pata empresaria es entre reducida y nula.





La heterogeneidad de intereses es elevada. Por ello, las tareas de mediación son muy importantes, y con frecuencia desgastantes. Hemos verificado un importante rol del silencio en muchos actores, y en circunstancias en que sus intereses se veían vulnerados, actitudes de tensión, resignificadas como otros actores en términos de descalificación. No obstante las dificultades propias de la envergadura de los tres temas en tratamiento, la Mesa ha logrado posicionarse como un colectivo reconocido institucionalmente.



Figura 21: Refinería La Plata YPF, localizada entre las ciudades de La Plata, Ensenada y Berisso.

Fuente: Foto de Tomás Canevari

En el tema 1, el Gerente General de la Refinería “La Plata” de YPF, la más importante de Argentina en 2016, ha recibido una propuesta de la Dra. Noemi Zaritzky, la científica más prestigiosa de la Argentina (Premio Houssay) y su equipo, en conjunto con la coordinación de la Agenda Científica. Esto surgió fruto de un acuerdo en la Primera Mesa de Trabajo. Se avanza, aunque lentamente, en la implementación de una prueba piloto para descontaminar de petróleo el territorio.

En el tema 2, el más conflictivo de esta Agenda 2016-2026, desde hace más de medio siglo, se ha avanzado en criterios de diálogo entre perspectivas teóricas y datos de contaminación industrial y perspectivas teóricas y sus datos relacionados con la medicina y la salud. Es oportuno consignar que las localidades de Ensenada (1801), Berisso (1879), La Plata (1882) y El Dique (1886) son previas a la Refinería YPF (1925) y a Copetro (1982). La solución del tema 2 está inserta en una hipótesis de un cúmulo de micro-acciones permanentes todos los meses durante al menos la próxima década con la premisa que las dos empresas, sobre las que la comunidad ha realizado mayores reclamos y demandas (YPF y Copetro Oxbow), mejoren año a año con certificación acorde a normas internacionales su calidad ambiental y la reducción de los efectos sobre la salud de los habitantes. Si bien ambas empresas han tenido importantes avances en esa materia en los últimos años, esta Agenda Científica estima necesario que se posicionen en el concierto mundial de su respectivo rubro CIUU en un ranking ambiental semejante al de empresas en países como Japón, Alemania o Estados Unidos. En 2019 ha comenzado la primera etapa de implementación de un Sistema de Vigilancia





Epidemiológica en la localidad de Villa Arguello (Berisso), con la participación de la Catedra de Epidemiología de la UNLP, la Secretaría de Salud del Municipio de Berisso y la participación de organizaciones barriales.

En el tema 3, dada la heterogeneidad de intereses y la ausencia total de participación pública desde el inicio del proyecto hace más de una década, la Mesa permanente acordó iniciar un Expediente en la Defensoría del Pueblo (N°15183/2017). Esta iniciativa ha tenido al momento un mayor impacto que las Audiencias Públicas, las cuales además de no haberse realizado nunca, no son vinculantes. En este caso, los 21 ítems presentes en el Expediente 15183/17 constituyen un logro del trabajo planificado y participativo conjunto sin precedentes.³⁷ En 2018 se logró frenar la obra, hasta tanto no se avance en el esclarecimiento y respuesta a varios de los ítems solicitados.

Actualmente con los cuatro temas de Agenda, se continúa por otros canales institucionales desde el sistema científico-tecnológico nacional y provincial, para vincularlo con Políticas Públicas mes a mes durante el período 2019-2026.

Política pública y ciencia pública con la gente.

Hacer Ciencia Pública poldisciplinaria, participativa, compleja, rigurosa, innovadora, básica y aplicada, práctica, útil, micro-transformadora, permanente, macrotransformadora e inscripta en el marco del paradigma científico emergente, es hacer ciencia con la gente en los hechos más que en los discursos. Lleva mucho más trabajo, pero nos da mayores satisfacciones.

Olin Wright (2015) plantea que la relación entre la macropolítica y lo microsocial es clave en la construcción de utopías reales y de una Ciencia Social emancipatoria. Los contenidos de las Políticas Públicas (urbanizaciones informales, ambientales, industriales y muchísimos otros temas) pueden ser analizados, descifrados e interpretados como macroobjetos de investigación básica y aplicada. Allí cobra peso la tríada social de procesos, lugares y actores (Bozzano, 2009, pp. 223-252). Los procesos guardan relación con la macropolítica, los actores con lo micro-social, mientras que los lugares ejemplares y replicables son la costura entre ambos. Estimamos que hay más de 50 mil urbanizaciones informales en América Latina. Entonces, es necesario que nos posicionemos pensando macroprocesos acordes a la envergadura de cada Política Pública; ahora bien si no lo hacemos en un lugar situado —como lo es Puente de Fierro, Ensenada, etc. —, con actores situados (los partícipes de cada Mesa), la Política Pública puede derivar en una abstracción, implementada con un estilo de gestión *top-down* alejada de personas y lugares. Sin embargo, tampoco el estilo *bottom-up* garantiza el éxito.

Para concluir esta etapa del camino transitado en investigación en las tres últimas décadas en el CONICET y en la UNLP, estamos trabajando con una hipótesis que expone un camino de realidades más o menos instituidas en la ciencia y en la política, según los 19 escalones, planteando alternativas y puentes entre la Ciencia y la Política Pública e incorporando a la gente desde el primer minuto. Planteados en apretado resumen son: 1. Investigaciones básicas por disciplina; 2. Investigaciones básicas por

37. En la Mesa de Puente de Fierro participan prioritariamente organizaciones, vecinos, científicos y tesistas, y en ocasiones funcionarios públicos; la presencia de la pata empresaria es entre reducida y nula.





disciplina con participación de la gente; 3. Investigaciones básicas interdisciplinarias o polidisciplinarias; 4. Investigaciones básicas interdisciplinarias o polidisciplinarias con participación de la gente; 5. Investigaciones disciplinarias aplicadas; 6. Investigaciones disciplinarias aplicadas con la gente; 7. Investigaciones inter o polidisciplinarias aplicadas; 8. Investigaciones inter o polidisciplinarias aplicadas con la gente; 9. Agendas científicas teóricas; 10. Agendas científicas aplicadas; 11. Agendas científicas aplicadas participativas; 12. Agendas públicas cerradas; 13. Agendas públicas abiertas; 14. Programas o Planes públicos cerrados; 15. Programas o Planes públicos abiertos; 16. Políticas Públicas cerradas; 17. Políticas Públicas abiertas; 18. Políticas de Estado cerradas; y 19. Políticas de Estado abiertas. Esta hipótesis se va probando, puliendo, mejorando y ajustando mes a mes con la lectura, la escucha y el trabajo continuo.

La escucha de gente de las cuatro patas que seguramente trabaja en otras iniciativas en esta línea de gente, ciencia y políticas públicas, cruzados con los apasionantes, innovadores y desgastantes aprendizajes mes a mes con las dieciséis Mesas de Trabajo ya realizadas, así como con las que seguiremos realizando durante varios años nos darán el entusiasmo de pensar que otros territorios son posibles, con Inteligencia y Justicia Territorial. Vale la pena el trabajo. La satisfacción tiene otro sabor.

El caso en Colombia

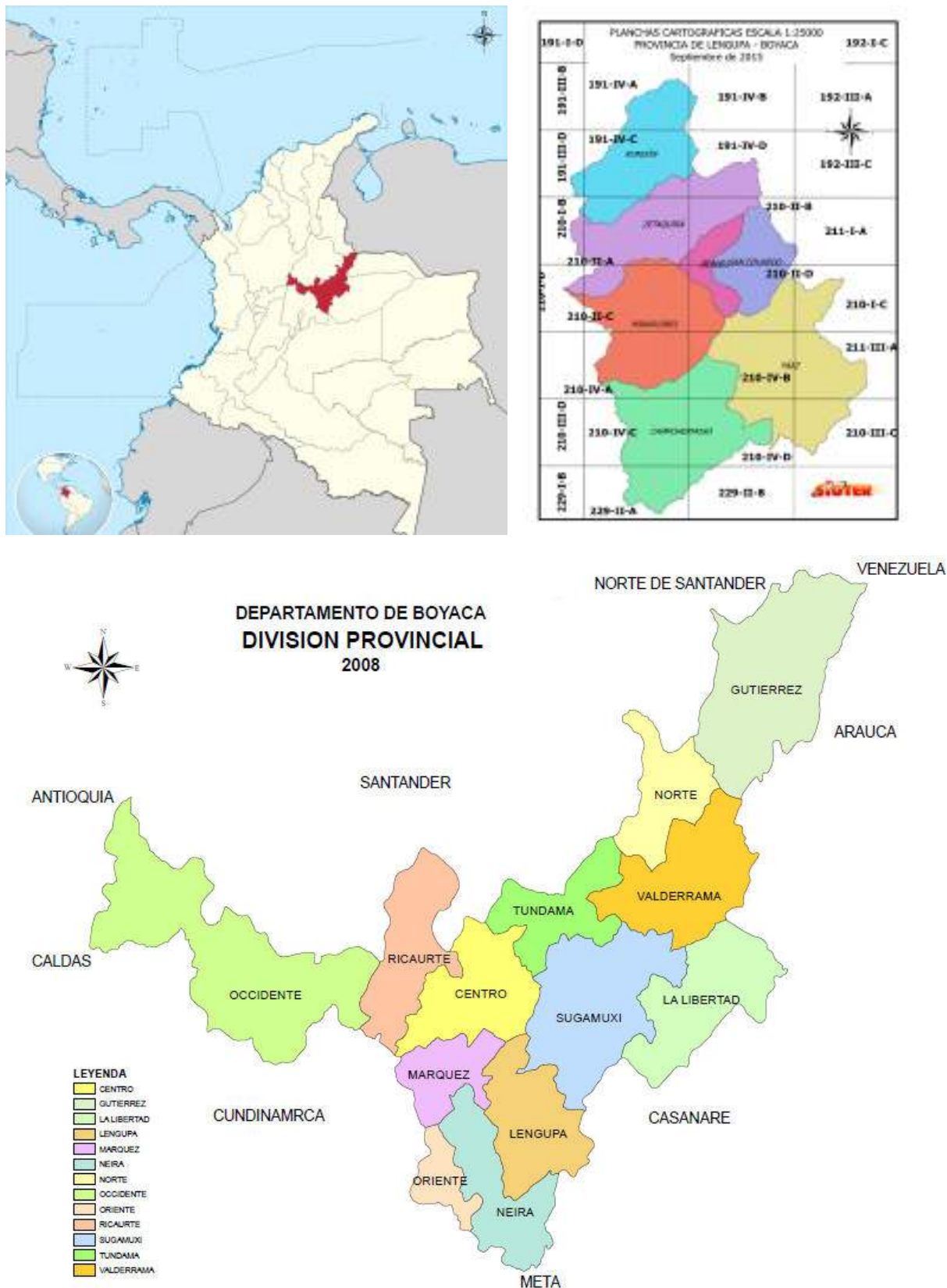
Es oportuno considerar que el vínculo entre Lengupá y nuestra Red Científica Solidaria Latinoamericana *Territorios Posibles, Praxis y Transformación* tuvo lugar a través del Ing. Hernando Dávila quien conoció el quehacer de la red citada en un evento realizado en 2013 en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá. Allí, el Ing. Dávila informa a su amiga Margarita Ávila de Tejiendo OSC, acerca de la afinidad entre la preocupación de la Corporación para el Fomento y el Desarrollo de Lengupá *Tejiendo OSC* con el quehacer de la Red *Territorios Posibles*³⁸.

En 2008 se gesta la idea de participación comunitaria, a través de los primeros encuentros de tertulia formalizándola gradualmente martes tras martes. Así nace *Tejiendo OSC* Organización de la Sociedad Civil. Allí comienza la concreción de un sueño con el vínculo en primera instancia a un grupo de investigadores de la Universidad Distrital, Edier Bustos, Leonardo Charry y Helmut Espinosa entre otros. Continuó, con el encuentro académico con el Centro de Estudios Urbanos y Regionales, CEUS, de la Universidad del Rosario de Bogotá, en cabeza de la Dra. María Helena Botero Ospina.

En mi primera visita a Lengupá, territorio localizado sobre el piedemonte andino-orinocense del Departamento de Boyacá, en Agosto de 2017, tuvimos la oportunidad de conocerle y a sus gentes, escucharlos, interactuar, aprender, disfrutar y hasta encajarnos en sus difíciles caminos. Trabajamos particularmente en las municipalidades de Miraflores y Campohermoso, con líderes y lideresas, también participaron concejales y referentes de la región.

38. Un agradecimiento por su lectura y aportes a toda la comunidad de Lengupá, a Tejiendo OSC y al equipo de Investigación del CEUS de la Universidad del Rosario, entrañables todos. Son ellos los seres sentipensantes que están motorizando esta iniciativa tan contagiosa y portadora de unas Geografías del Poder del Amor que vencen al Poder de nuestras Miserias. No obstante es oportuno señalar que aún nos falta profundizar en el vínculo entre la comunidad de Lengupá y nuestra red latinoamericana en materia de algunas de las siete "interfaces de conocimiento" planteadas por Norman Long, así como en la aplicabilidad del cuarto pilar del paradigma emergente planteado por Boaventura de Sousa Santos. Los caminos teóricos y los epistemológicos no siempre son semejantes. Es necesario avanzar en una mayor articulación entre ambos a partir de casos concretos como los tres abordados en esta publicación. Por tal motivo es oportuno reconocer que las interpretaciones desde las "cuatro patas de la mesa" y aún dentro de cada pata tendrán sus percepciones, cosmovisiones y representaciones. La meta no es lograr el acuerdo pleno, sino un mejor entendimiento e inteligencia colectiva sobre el territorio





Figuras 22, 23 y 24: República de Colombia, Departamento de Boyacá y Provincia de Lengupá
 Fuentes. Colombia: Wikipedia. Boyacá: Institución Educativa Técnica Ramón Ignacio Avella. Lengupá: Departamento Administrativo de Planeación de Boyacá



Lengupá: Territorio Posible con Inteligencia Territorial. Tejiendo OSC y la Universidad del Rosario

En un artículo, reciente María Helena Botero y Karoll Piza (2017) presentan

ante la comunidad académica un avance en los estudios territoriales a través de la metodología de Inteligencia Territorial. Lo anterior reconociendo sus ventajas y limitaciones lo que permite evaluar su alcance, se comprueba desde el estudio de caso «Recuperación de las dinámicas socio-productivas de la Provincia de Lengupá en el departamento de Boyacá, Colombia» la necesidad de plantear la complementariedad de los enfoques de Prospectiva Territorial, dinámicas de las organizaciones, crecimiento local y procesos del conocimiento en el marco de los conceptos de espacio, territorio y tiempo planteados con el objetivo de plantear transformaciones a largo plazo en el territorio que aporten al bienestar y la autodeterminación de los mismos (2017, p. 1).

Botero y Piza priorizan en su quehacer colectivo con la comunidad de Lengupá tres dimensiones: (a) territorialidades, temporalidades y organizaciones, (b) crecimiento productivo y económico en el orden local, y (c) procesos de conocimiento.

La Inteligencia Territorial siempre tendrá sus limitaciones porque nació abierta, progresiva, evolutiva, transformadora; y porque su teoría se construye con las iniciativas en territorio. Podría llamarse también gobernanza territorial integrada, “rabanito en flor”, o como se quiera llamar. Pero indefectiblemente debe resolver algunos de los millones de problemas sociales y ambientales del planeta y la humanidad con la gente desde la ciencia. Acompañan instituciones, empresas y medios de comunicación, siempre en el marco del respeto y la institucionalidad. Se trata de una fórmula para construir políticas públicas diferentes a las dominantes, como lo hacen en Lengupá, como lo hacemos en Puente de Fierro, Ensenada-Berisso-La Plata, y en muchísimos lugares más —afortunadamente—.

En una década en América Latina, con la participación de grupos de 48 Universidades en 12 países, los territorios posibles con inteligencia territorial han ido progresando, y los años venideros serán de aprendizaje perpetuo. Sin conocer en profundidad el caso de Lengupá por parte de quien escribe este texto, a continuación, entre paréntesis, se consignan relaciones entre las citas de Botero-Piza y los contenidos de las cuatro hipótesis introducidas sintéticamente en el ítem 6 de esta publicación. Dichas hipótesis son: H1) Procesos, Lugares y Actores, H2) Identidades, Necesidades y Sueños,, H3) Geografías del Amor, el Poder y las Miserias, H4) Transformaciones Subjetivas, Sociales, Ambientales y Decisionales

Consignan Botero y Piza:

Para señalar los alcances de la inteligencia territorial como enfoque de análisis y transformación, es necesario revisar los conceptos de: *territorio, territorialidad; espacio y espacio geográfico; tiempo y temporalidad*, desde el trabajo de Marcos Saquet (H1); así como aproximaciones particulares en cuanto a la *dinámica de las organizaciones* y su función dentro del desarrollo de los territorios, a partir de la construcción de acuerdos (H2, H3) y de esquemas de funcionamiento adecuado (Saquet, 2015) (Rodríguez-Pose, 2013). Tales arreglos se presentarán en los resultados de investigación, entre los que se encuentran la colaboración de la Corporación Autónoma Regional, la Organización de la Sociedad Civil, Colectivos Ambientales, Consejo Provincial de Turismo y las Asociaciones de Productores, para la puesta en marcha de rutas con aspectos ecológicos destacados y sostenibles para una actividad turística productiva (H2, H3, H4). (pp.3 2016)

Una segunda dimensión analítica hace referencia al *crecimiento productivo y económico en el orden local* como lo plantean Coraggio (2005) y Amin (1998), para lo cual no basta con generar espacios de coordinación y diálogo de los diferentes actores en el avance del territorio, sino la construcción





de la base material y las posibles fuentes de riqueza como lo son la tierra y el trabajo, que deben ser incrementadas y distribuidas de acuerdo con las necesidades reales de la población y su bienestar (H2, H3).. (Botero y Piza, pp.4 2016)

Una última dimensión analítica, que busca garantizar las transformaciones a largo plazo en el territorio, son los *procesos de conocimiento* (Nonaka & Takeuchi, 1999) en su observación, deliberación y divulgación, a través de la investigación y la innovación, sobre todo en las actividades cotidianas del territorio (H1, H2, H3, H4). En esta línea de ejecución, uno de los resultados de esta investigación ha sido la definición y cálculos de las capacidades de carga de los ecosistemas estratégicos asociados a las rutas ecoturísticas (H1).” (Botero y Piza, pp.5 2016)

El trabajo se basa en la Inteligencia Territorial, que ha mostrado en su aplicación en el territorio sus potencialidades, pero también limitaciones que podrían resumirse en las ausencias de instrumentos prácticos para generar transformaciones a largo plazo, centradas en el acompañamiento de los actores y el proceso de enseñanza y aprendizaje con todos ellos (H3). (Botero y Piza, 2016)

La referida ausencia de instrumentos prácticos es obra de los siete mil kilómetros que nos separan entre los grupos de IAP de Colombia y Argentina. Para la IT latinoamericana es fundamental la metodología y la particular combinación del arsenal de métodos y técnicas disponibles; trabajamos con más de una treintena en nuestra red. Sin embargo, en cada proyecto y su proceso de trabajo, cada combinación es particular: es un arreglo a la medida del trabajo con las cuatro patas de la mesa de la IT que en cada caso se pone en juego.

Entre los retos de nuestra próxima visita en Octubre de 2017 a Lengupá, con tres integrantes de TAG IdIHCS UNLP-Conicet³⁹, se encuentra la identificación y el acuerdo conjunto entre científicos y actores locales, acerca de la metodología más conveniente que podría construirse en esta nueva fase, para continuar aplicándose IAP como lo vienen haciendo la comunidad lengupense y el CEUS con las “cuatro patas de la mesa”. El espíritu se orienta a conocer, además del Método *Territorii*, hoy ejecutado parcialmente y la Prospectiva Territorial, una amplia caja de herramientas, entre otras: *Métodos Stlocus*, *Catalyse*, *Portulano*, *Skypa*, *SPSS*, talleres, mesas de trabajo permanentes, observatorio OIDTe, *focus group*, agenda científica, técnicas en diálogo social, historias de vida, etc., siempre en un escenario de IAP.

Para ello, primero será necesario saber qué acciones se realizaron y cuáles se han acordado. Estamos convencidos de que este aprendizaje se construye cara a cara en talleres, mesas, agendas, OIDTe, más que por redes virtuales de internet (*Whatsapp*, *Skype*, etc.). Va surgiendo en este caso de la articulación entre el norte que traza *Tejiendo OSC*, con las demás organizaciones de Lengupá, con las tres dimensiones priorizadas por el equipo de la Dra. Botero, junto con las cinco fases entre la ciencia y la gente, publicadas en el libro de la IT (Bozzano, en Bozzano et al; 2012, pp. 90-118). En síntesis, nos referimos a la triangulación paradigmática, la triangulación teórica, y las triangulaciones del objeto de estudio, de intervención y transformación.

Las cuatro patas de la mesa de la Inteligencia Territorial.

Consignan Botero y Piza:

Bozzano usa la imagen una mesa de cuatro patas, en donde cada una de ellas representa los actores políticos, económicos, científicos y comunitarios, y la parte superior, los proyectos a forjar en el territorio. Para el caso de Lengupá los actores en la “*pata política*” que son quienes generan los espacios en donde la población expone sus necesidades y, a partir de ellos, buscan interpretarlas

39. Dr. Gastón Cirio y Lic. Tomás Canevari





y hacerlas visibles y tangibles en acciones de gobierno municipal, departamental y regional que en Lengupá están representados en Asolengupá (Asociación de los Alcaldes), la Gobernación del Departamento de Boyacá, el Gobierno Nacional, y las Corporaciones Autónomas Regionales de Boyacá y Chivor. (H2, H3). (Botero y Piza, 2016.)

La “*pata económica*” de la mesa comprende diferentes manifestaciones de la actividad económica, desde grandes empresas, que en los hechos degradan al ambiente, hasta producciones agroecológicas, economía social solidaria y otras modalidades afines. La economía desde la institución de gobierno es parte de la “*pata político-institucional*”. En el caso de Lengupá, este colectivo comunitario y científico trabaja preferentemente con pequeños productores del sector agropecuario y con el incipiente sector turístico, que promueve la valoración de características estéticas de los ecosistemas. En Lengupá, ambos sectores están representados principalmente por diversas asociaciones de productores, productores no asociados, comerciantes, algunos empresarios, promotores de turismo y la Cámara de Comercio de Miraflores y Tunja, quienes a su manera impulsan dinámicas productivas y promueven la sostenibilidad monetaria de los habitantes de la región.

La “*pata científica y cognitiva*” está representada por los actores *científicos*, quienes aportan teorías y métodos así como conocimientos institucionales, pedagógicos, disciplinares y tecnológicos, orientados a la co-construcción de Territorios Posibles (H1, H2). Asimismo, fortalecen esta pata en la región más de 100 escuelas, colegios y centros educativos, así como, mediante la presencia, con oferta de formación y ejecución de proyectos, de la Universidad del Rosario, la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Universidad Nacional; el Servicio Nacional de Aprendizaje Nacional, SENA, el Centro Regional de Educación Superior, CERES, la Escuela Superior de Administración Pública, ESAP, y el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias, que trabajan como actores de enseñanza y aprendizaje en un intercambio constante de conocimiento. Desconocemos en qué medida la inserción de cada uno de estos quehaceres se aproxima en mayor medida al *paradigma científico dominante* o al *paradigma científico emergente* (De Sousa S., 2009.).

Por último en el trabajo de Botero y Piza se alude a la “pata” de la mesa más importante: la *comunitaria*.

Están los actores que materializan la Inteligencia Territorial como una herramienta recuperadora de la región y del desarrollo local, en tanto se vinculan a través de su actividad ciudadana, con el interés del avance colectivo del territorio. En el caso de Lengupá están las Juntas de Acción Comunal, la Corporación para el Fomento y el Desarrollo de Lengupá OSC, Fundaciones, Organizaciones Religiosas y Asociaciones de Víctimas de la violencia y desplazados. Estas potencialidades de los diversos actores del territorio se expresan en la Inteligencia Territorial en cuatro postulados fuerza: la importancia de no partir de una perspectiva totalizadora en lo metodológico en tanto los métodos es complementarios y no se comportan de forma autosuficiente y mucho menos excluyentes (H1, H2, H3). (2016, pp.7-8)

Para activar las “cuatro patas de la mesa”, se realizó un diagnóstico de la capacidad de carga de los ecosistemas asociados a las rutas. En ese orden de ideas, la “pata de la mesa” de los actores *económicos* que en este caso era un operador turístico y el Consejo Municipal de Turismo, junto con la “*pata comunitaria*” en cabeza de las organizaciones de la sociedad civil, la “*pata administrativa*” con la Corporación Autónoma Regional de Boyacá y la delegación de algunos funcionarios de los gobiernos municipales, así como la “*pata académica*” con la presencia de la Universidad de Rosario que trabajó recogiendo las preocupaciones del orden ecológico y las necesidades monetarias de los habitantes de la Provincia (H1, H3)” (2016,p.13)





Primeros diálogos entre el Método Territorii y la Prospectiva Territorial.

Es oportuno señalar que estamos trabajando con María Helena Botero, en la articulación entre este método y la prospectiva a partir de las experiencias de IAP que ambos equipos venimos realizando en Colombia y Argentina. Consignan Botero y Piza:

En el caso de Lengupá se inició el trabajo en campo con el Método *Territorii* como herramienta orientada al diagnóstico y análisis socio territorial, con el objetivo de identificar los *territorios reales* de carácter descriptivo de las condiciones de la provincia en aspectos objetivos, como las condiciones biogeoquímicas y ecológicas de la sub-región, resultados que se ubicarán en la descripción del área de estudio (H1) (2016, p.8).

Posteriormente se identificaron los *territorios vividos* en los que se hace referencia a las percepciones de los habitantes, sus subjetividades desde su cotidianidad, aspecto que se desarrolla en el análisis del fenómeno del conflicto armado para identificar necesidades, como base para la construcción de un modelo productivo para la Provincia (H2). Se introduce en los *territorios legales* que establecen los límites del orden jurídico y normativo desde el que se ordena el territorio como las disposiciones de la ley 1454 de 2011 en la aplicación de principios como la soberanía y la autonomía de sus entidades territoriales en sus decisiones (H1). En el caso de Lengupá desde la “pata” comunitaria se impulsan procesos de toma de decisión en donde comprometen a los administradores del territorio a permitir la participación de forma decisoria y vinculante a todos los actores, lo que se evidencia, por ejemplo, en los escenarios de participación generados y presionados por la sociedad civil para el plan de desarrollo de los diferentes municipios (H3). Por último, se retomaron los *territorios posibles* como marco propositivo que liga los territorios *reales*, *vividos*, *legales* y *pensados*, en donde se planteen transformaciones a largo plazo para el territorio de forma *prospectiva*. (H3, H4) (2016, pp.8-9)

Hasta este punto los aportes de la Inteligencia Territorial y el método *Territorii* permitieron construir un diagnóstico, así como el reconocimiento de las dinámicas y de los actores. Sin embargo y justamente en la vía de construir los *territorios posibles*, encontramos ciertas limitaciones en la puesta en práctica de dichas intenciones... Las *limitaciones* se relacionan con la implementación de las estrategias para resolver las necesidades asociadas con los *esquemas de mejoramiento productivo* desde la formación empresarial para la consolidación de nuevos mercados; y la construcción de la *memoria territorial* histórica y ecológica (H3). Al terminar dicha fase en el territorio y pensar en iniciar la fase de *territorio inteligente*, se encontró una brecha metodológica entre las necesidades y cómo subsanarlas... Por ello, hemos usado otros enfoques que dieran respuesta a las necesidades identificadas, tales como la *Prospectiva Territorial*, para plantear las acciones a largo plazo dirigidas a ubicar *tendencias* y *factores de cambio* que se puedan generar en el territorio (Vázquez-Barquero, 2000). En paralelo, otros enfoques nos han auxiliado en el fortalecimiento de la *dinámica de las organizaciones* y su función dentro del desarrollo de los territorios, a partir de la construcción de acuerdos y de esquemas de funcionamiento adecuado. (H3, H4)” (Botero y Piza, 2016, p.9)

Por lo que en primera instancia se realizó la identificación y la caracterización de los actores y sus posibles grados de compromiso con la resolución de las necesidades, en reuniones con la presencia de diferentes actores de cada una de las “patas” de la mesa en torno a las necesidades específicas (Rodríguez-Pose, 2013). Apartir de los resultados del Método *Territorii*, en el diagnóstico de los *territorios reales* y *vividos*, se plantean los *posibles* reconociendo la debilidad del sector productivo por lo que se aplicó el enfoque de *crecimiento productivo y económico en el orden local*, específicamente en el sector agropecuario y en sector de servicios específicamente en el turismo para lo que se identificaron las asociaciones de productores y de actividades turísticas en dos aspectos: primero las necesidades de la actividad y segundo los aspectos organizativos de cada una de estas asociaciones(H2). (Botero y Piza, 2016, p.9)

En referencia al primer aspecto se convocaron a las asociaciones de productores a participar de la metodología *mapeo de alcances* en su primera etapa el diseño intencional, las otras se llevarán a cabo bajo la autonomía de las organizaciones. En el *diseño intencional*, cada organización planteó su *visión* y *alcances deseados*, es decir, hacia ¿dónde querían ir?, en este paso se encontraron





dos grandes resultados. La organización como mecanismo para recibir los beneficios del Estado, por otro lado, la resistencia a través de la organización las épocas de crisis y en ese orden de ideas constituía una red de apoyo fundamental. En el segundo paso se identificó la *misión* que se articula con los *mapas de estrategias y prácticas de la organización*, para responder al cómo realizar sus objetivos. (H2, H3) En ese caso se propuso de parte de las asociaciones el estudio de los estatutos para ver si estaban acordes con las necesidades de quienes las constituían. Como resultado, se evidenció que los asociados no conocían los lineamientos que compartían, así como vacíos de estructuras y funciones vitales como veedurías, tesorerías y secretarías, cargos que si existen tienen las responsabilidades concentradas en una sola persona. Por ello, se plantearon mecanismos de redistribución de dichas asignaciones para construir formas asociativas (H3) (Botero y Piza, 2016, pp.8-9)

Si consideramos el mapeo de alcances, el diseño intencional y los mapas de estrategias y prácticas de la organización como técnicas a las que recurre la Prospectiva Territorial, entonces es oportuno proponer la inclusión de dichas técnicas en las fases de territorios pensados y posibles de Territorii.

Otros rasgos de proximidad entre *Territorii* y la perspectiva desarrollada por Botero y Piza surgen de plantear articulaciones entre las tres dimensiones de su proceso investigativo -*territorialidad, temporalidad, dinámica de organizaciones* (Saquet, 2015; Rodríguez-Pose, 2013), el *crecimiento productivo y económico en el orden local*, y los *procesos de conocimiento*- con las fases metodológicas de *Territorii*. Vale decir que se trata de indagar en una doble vía, dialéctica, lo siguiente: ¿Qué contenidos de las tres dimensiones del proceso investigativo van emergiendo en cada una de las ocho fases de *Territorii*? y ¿Qué otras técnicas sociales y espaciales son pertinentes de incluir en *Territorii* para responder a estas tres dimensiones?

Tres resultados, tres logros. A través de la perspectiva de los *Territorios Posibles* con *Inteligencia Territorial* se obtuvieron varios logros. En primer lugar, se identificaron las necesidades de armonizar la producción y las relaciones con los ecosistemas en clave de memoria territorial, planteando estrategias para minimizar las contradicciones de orden antagónico entre los diferentes actores y lógicas, así como entre racionalidades económicas, sociales y ambientales con frecuencia contrapuestas. El segundo logro refiere a la articulación de forma concreta de un buen número de actores representativos de la realidad lengupense. Esto produjo un impacto favorable directo sobre los procesos de autodeterminación del territorio, fortaleciendo particularmente los actores económicos más pequeños y las organizaciones de la sociedad civil. Por último, el tercer logro refiere a un profundo proceso de aprendizaje y transformación de parte de la “pata de la academia” a través de una investigación aplicada que recogió una experiencia de resiliencia de un colectivo social, que deja grandes enseñanzas a cualquiera que pise esta provincia.

Cuatro hipótesis

Al cabo de 36 años de trabajo en la investigación científica en la UNLP (1982) y en el Conicet (1984), cuatro hipótesis están estructurando una *teoría de la transformación* orientada a resolver problemas sociales, ambientales y cognitivos, es decir, tres de las cinco componentes de la mesa de la IT latinoamericana, siempre con la participación de las dos restantes: las patas políticas y económicas. (Figura 2) La teoría refiere a *territorios posibles* en diversas manifestaciones: con inteligencia territorial, con justicia territorial,⁴⁰ con gobernanza territorial integrada, con gestión (o cogestión) integral del territorio.

40. <http://territoriosposibles.fahce.unlp.edu.ar/noticias/justicia-territorial-en-el-cieta-vii-de-colombia>





La propuesta también comparte objetos y objetivos con ramas de IAP, dentro de un buen número de disciplinas cuyos macroobjetos de investigación, no solo teorizan y adoptan una postura crítica frente al sistema dominante, sino que dedican tiempo a transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y/o decisionales.⁴¹ Asimismo, la aplicación y/o ejecución de esta teoría en formación se va logrando durante dos décadas con el perfeccionamiento gradual del Método Territorio. Las cuatro hipótesis refieren en apretado resumen a: 1. Procesos, lugares y actores, 2. Identidades, necesidades y sueños, 3. Geografías del amor, el poder y las miserias y 4. Transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales.

Procesos, lugares y actores.

Acerca de la primera hipótesis, existe un sinnúmero de macro *procesos* naturales y sociales (geografía, historia, ecología, sociología, ciencia política, otras disciplinas) que conforman micro, meso y macro *lugares* cooperativos y contradictorios (geografía, antropología, ecología, urbanismo, otras disciplinas), donde los *actores* comunitarios, políticos, económicos, científicos, *mass media* y otros, hacen y deshacen según sus propias racionalidades y lógicas (psicología, antropología, microsociología, otras disciplinas).

Las nutrientes de esta hipótesis fueron publicadas en 2006 y 2009. Se incorporan sendos “puntos de vista del *sistema* o la *estructura* en E. Durkheim y de la *acción* o la *agencia* en Weber” (De Ipola, 2004, pp.14-15), ya no desde perspectivas sociológicas, sino en campos que alcanzan a todas las ciencias sociales. Se trabaja articulando visiones de macro procesos o macroestructuras o macrosistemas (sociales, ambientales, políticos, económicos, culturales, etc.) presentes en cada micro, meso o macroproyecto concreto, con visiones de saberes de actores o sujetos partícipes de cada proyecto: un ciudadano, un productor, un político, un técnico, un docente, un financiador, etc.

Esta tensión entre la acción y el sistema, propios de los orígenes de la teoría sociológica, se ha ido profundizando en mayor medida con otra tensión, cuando desde algunas ciencias sociales, como la geografía, urbanismo, ordenamiento territorial, desarrollo endógeno, antropología, economía espacial y otras, se intenta incorporar al *territorio* y sus *lugares*. En este caso son entendidos como espacio terrestre socialmente significado y construido, como hibridación entre naturaleza y sociedad, como articulación entre algo y alguien. (FIGURA 2)

La hipótesis es la siguiente. Habida cuenta del carácter complejo de la realidad social-natural, cualquiera sea, no podemos pensar que el punto de vista del sistema (macro y meso procesos) excluya a los puntos de vista del *territorio* (lugar) y de la acción (actores); ni tampoco que el punto de vista del territorio excluya los del sistema y de la acción; ni que el punto de vista de la *acción* excluya a los puntos de vista del *sistema* y del *territorio*.

Identidades, necesidades y sueños. Acerca de la segunda hipótesis, cada sujeto como individuo y como parte de un colectivo —su lugar, su barrio, su ciudad, su

41. Trabajo Social, Psicología Social, Comunicación Social, Economía Social, Sociología del Desarrollo, Educación Popular, Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano, Desarrollo Territorial, Desarrollo Urbano, Desarrollo Rural y muchas otras disciplinas del catálogo de ciencias





país y sobretodo su planeta—, si aún no lo ha hecho, podría dedicarse a responder seis preguntas, aunque sea parcialmente a lo largo de su vida: qué soy, qué somos, qué quiero, qué queremos, qué necesito y qué necesitamos⁴². Si logro ser sujeto de autoconocimiento, y de este modo ser más consciente de saber quién soy y quiénes podemos ser como humanidad (identidades subjetivas y colectivas), podré luego avanzar en mejores condiciones para ser más consciente de qué quiero ser y qué quisiera que seamos (motivaciones, anhelos, deseos y sueños subjetivos y colectivos).

Si al responder, aunque sea parcialmente, estas cuatro preguntas soy más consciente de cómo vivir mi brevísimo día a día en la historia de la humanidad, las otras preguntas por el qué necesito y el qué necesitamos, podrán ayudarnos a ir mutando del desenfreno del capitalismo, el consumismo, la avaricia y la corrupción a otros estados. Se trata de los *territorios posibles*, las *utopías reales*. Más allá del capitalismo, del comunismo y de otros sistemas políticos, identidades, necesidades y sueños estarían resumiendo entonces nuestro cometido en este brevísimo paso por el Planeta.⁴³

Geografías del amor, el poder y las miserias.

Incorporando resultados de procesos de IAP en ámbitos muy variados, a fines de 2014 se formula esta compleja hipótesis referida a las geografías del amor, el poder y las miserias. En síntesis, se plantean unas *geografías*, entendidas como relaciones sociedad-naturaleza desde hace como mínimo 70 mil años, donde solo en los últimos siglos la ciencia, la tecnología, el capitalismo, el comunismo y el colonialismo han ido produciendo simultáneamente notables avances pero también muchísimas desigualdades. La corrupción en cambio, tiene más de 4 mil años y, según John Noonan, no es patrimonio de nuestro presente.

En estas geografías, el poder de la sociedad sobre la naturaleza (calentamiento global, parte del cambio climático, nuevos cultivos, megaminería, etc.) y el poder de la naturaleza sobre la sociedad (tectónica, vulcanismo, otra parte del cambio climático, inundaciones, sequías, etc.) hoy se despliegan a modo de un oxímoron desencadenando procesos sociales-naturales y procesos naturales-sociales en lugares con actores que accionan día a día miles de millones de micro-transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales. Las interrogaciones tanto subjetivas como en lo relativo a nuestra especie humana planetaria en materia de *identidades*, *necesidades* y *sueños* son más que insuficientes.

42. Con la Dra. Lourdes Poujol, antropóloga fundacional de nuestra Red *Territorios Posibles*, realizamos en 2012 más de 100 encuestas sobre *identidades*, *necesidades* y *sueños* en Argentina, Lituania, Colombia, España, Argelia, Uruguay, Francia y otros países con resultados sorprendentes. Nuestra meta es publicar próximamente un artículo científico con sus resultados.

43. Tal vez el mayor indicador de las desigualdades e injusticias planetarias refiera a las esperanzas de vida por países; oscilan según las fuentes (Organización Mundial de la Salud, CIA World Factbook) entre 32 y 41 años (Suazilandia, Angola, Zambia) en un extremo y entre 82 y 89 años (Mónaco, Japón, Singapur, Andorra) en el otro extremo. Si consideramos que hace 6 millones de años aparecen los homínidos y que hace 25 mil años con la extinción del Hombre de Neanderthal aparece el hombre, nuestras *identidades*, *necesidades* y *sueños* en nuestras cortas vidas —entre 32 y 89 años promedio— están representando entre el 0,3% y 0,1% del tiempo de la Humanidad desde que el Hombre de Neanderthal desaparece, y entre el 0,001 y 0,0005% del tiempo de la Humanidad desde que existió el primer homínido. Es altamente probable que existan relaciones entre el tiempo de evolución de nuestro cerebro, conciencia y alma con nuestras *identidades*, *necesidades* y *sueños*. Seguramente en menos de un siglo la Ciencia pueda avanzar en esta hipótesis.





Transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales.

Acerca de esta hipótesis, entre nuestras prácticas cotidianas más básicas (comer, trabajar, dialogar, disfrutar, discutir, confrontar, dormir) y nuestras prácticas más trascendentes (ejercer el poder de nuestro amor y el de nuestras miserias), en buena medida, entre “el microscopio y el telescopio de nuestra vida”, proponemos hoy el “multiscopio de la transformación”, aquel que, incluyendo ambos —el micro y el telescopio— incorpora micro, meso y macro *transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales*.

Si las transformaciones subjetivas en conciencia, alma y cuerpo apuntan al poder del amor o si apuntan al poder de las miserias (tercera hipótesis), las otras tres transformaciones, a saber, sociales, ambientales y decisionales repercutirán en un micromundo (el hogar, el trabajo, el barrio) más ligado a uno u otro poder; a *territorii* y *stlocus* más justos o más injustos. Cuanto más conciencia, motivación y compromiso se tenga, más poder se estará en condiciones de desarrollar, activando así transformaciones sociales, ambientales y decisionales. Gobernantes, grandes empresarios, líderes religiosos, líderes espirituales, deportistas o artistas famosos, referentes comunitarios y muchos otros podrán incidir en mayor medida en *transformaciones sociales*, con el 95 a 98% de la humanidad que no ejercen su autoconocimiento y/o sus poderes, produciendo micro transformaciones virtuosas o viciosas en un sinfín de miles de millones de relaciones sociales cotidianas.

Un ser humano más conocedor del respeto por los procesos naturales (conductas hacia el ambiente) activará el poder del amor en desmedro del poder de las miserias, dando lugar así a transformaciones ambientales más justas que injustas. ¿Entenderán algunos grandes decisores —como el Presidente Trump— el mal que están ocasionando a toda la Humanidad? ¿Podrán hacer prevalecer en su cerebro su poder del amor por sobre su poder de las miserias? De allí que las transformaciones decisionales serán aquellas que traccionen, en los hechos, nuestras transformaciones subjetivas, sociales y ambientales. Miles de millones de micro-transformaciones en los cuatro planos aludidos serán disparadores de meso y macrotransformaciones. Las Teorías de la Transformación se ejecutarán mejor con el “multiscopio”, haciendo consciente la articulación entre micro y macrotransformaciones, no solo aquellas propias de las Ciencias Sociales y las Ciencias Exactas y Naturales, sino de las otras “patas de la mesa” de la IT, sino corren el alto riesgo de sesgar sus perspectivas y aplicaciones.

Epílogo y nuevos interrogantes

Este conjunto abigarrado de cuatro hipótesis se resume en un complejo macroproceso que excede nuestro breve tiempo y nuestro reducido espacio en el Universo. El Universo en principio tiene 12 a 16 mil millones de años, la Tierra 4600 millones, la Vida en la Tierra según los criterios entre 2500 y 3800 millones, los Homínidos 6 millones y el Hombre solo 25 a 70 mil años según los criterios. Ahora bien, ¿con qué y por qué hemos estado haciendo todo este complejo macroproceso en los últimos 25 mil años? Básicamente es obra de la evolución —e involución— de nuestro cerebro y con él de nuestra conciencia e inconsciencia, con nuestros *amores* y nuestras *miserias*.

Este texto no es de neurociencia. Sin embargo, hace un buen tiempo se conoce, por ejemplo, en qué lugar de nuestro cerebro se aloja la ira, y recientemente se descubrió





que el cerebro del amor se aloja en la ínsula y en el núcleo estriado.⁴⁴ A no ser que el poder del amor, al otro, al ambiente y a uno mismo: altruismo, solidaridad, cooperación, prevalezca sobre el poder de las miserias (egoísmo, corrupción, soberbia, consumismo, despilfarro, desidia, avaricia, envidia, ira, narcisismo, mentira, mediocridad, etc.), nunca habrá territorios concertados, inteligentes, ni justos puros, porque coincidiendo con Milton Santos “en cada territorio, cooperación y conflicto son la base de la vida en común” (1996).

El futuro de nuestro Planeta está en las leyes del Universo. El Planeta seguirá su camino con o sin nosotros, ya lo hizo con los dinosaurios: ¿seremos los próximos “dinosaurios” en desaparecer? El futuro del Hombre en el Planeta depende de cómo procesos, lugares y actores promueven identidades y sueños, dan respuesta a necesidades acuciantes mediante miles de millones de micro-transformaciones subjetivas, sociales, ambientales y decisionales para producir en pocas décadas – antes que sea tarde- unas Geografías del Poder de nuestro Amor –amor a sí mismo, al prójimo y al ambiente- que prevalezcan sobre nuestras siempre presentes Geografías del Poder de nuestras Miserias con nosotros, con el otro y con el ambiente.

44. http://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/06/120620_cerebro_amor_lugar_men.shtml





Bibliografía

- Amin , A. (1998). *An institutionalist perspective on regional economic development. an institutionalist perspective on regional economic development*. London: University of Durham.
- Bachelard, G. (1984). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI.
- Botero Ospina, M. H. (2015) *Hacia modelos de gobernanza transfronteriza*. En: *Fronteras en Colombia como zonas estratégicas. Análisis y perspectivas*. Colombia: Ed Fundación Konrad Adenauer en Colombia - KAS
- Botero Ospina, M. H. y Piza Amado, K. (2016) *Enfoques complementarios a la Inteligencia Territorial: Estudio de caso Provincia de Lengupá, Boyacá, Colombia*. Universidad del Rosario (inédito)
- Bozzano, Horacio. (1991). Introducción al proceso cartográfico. Elementos metodológicos. En: *Anales Congreso Nacional de Cartografía*. Santa Fé: Instituto Geográfico Militar Argentino.
- Bozzano, H. (2000): *Territorios reales, territorios pensados, territorios posibles. Aportes para una Teoría Territorial del Ambiente*. (3ª edición: 2012) Buenos Aires: Espacio.
- Bozzano, H. (2006) Procesos, lugares y sujetos, una tríada social crítica. I Parte: Aportes a la investigación científica en Ciencias Sociales. ¿Objeto de la geografía? ¿Objeto de quiénes? *Revista III Jornadas de Docencia e Investigación*, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa. 2006
- Bozzano, H. (2009). Territorios posibles. Procesos, lugares y actores. Editorial Lumiere, Buenos Aires (3ª edición 2017)
- Bozzano, H (2009a) Territorios : El Método Territorii. Una mirada territorial a proyectos e investigaciones no siempre territoriales. En: *8th International Conference of Territorial Intelligence*, Università di Salerno, Italia. 10p., <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00533337>
- Bozzano, H (2009b) Cartografías: El Método Portulano. Mapas atractivos donde se justifique trabajar con mapas En *8th International Conference of Territorial Intelligence, Università di Salerno, Italia* <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00533331>
- Bozzano, H., Karol, J. & Cirio, G. (2009). *Perspectiva EIDT en entendimiento, inteligencia y desarrollo territoriales*. I, II y III SIIT Seminarios Internacionales de Inteligencia Territorial (La Plata y Oberá, Argentina; y Minas, Uruguay) de la Red TAG Territorios Posibles. Recuperado de <http://slideplayer.es/slide/10410853/>.
- Bozzano, H. director, J.J.Girardot, G.Cirio, C.Barrionuevo y F.Gliemmo-coordinadores (2012) *Inteligencia territorial. Teoría, métodos e iniciativas en Europa y América*





- Bozzano, H. (2013b) Procesos de intervención y transformación con inteligencia territorial. Stlocus y Territorii en la caja de herramientas. *Revista Arquetipo*. UCP. (7), julio-diciembre 2013, Pereira de Risaralda, Colombia.
- Bozzano, Horacio (2013b). Geografia, Útil de Transformação. O método Territorii, o diálogo com a Inteligência Territorial. *Revista Campo e Território*, 8(16). Disponible en: <http://www.seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/issue/current>
- Bozzano, H (2014). La ciencia y la gente: Nuestro trabajo, los paradigmas ¿cuán cerca de la ciencia? ¿Cuán cerca de la gente?". *Revista Científica UCSA* (1), Asunción, Paraguay http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-87522014000100007
- Bozzano, H. (2016). *Inteligencia territorial y justicia territorial. América Latina: educación, políticas de Estado y transformación*. Conferencia central impartida en el VII CIETA, Congreso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales. Noviembre 1-4, Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Disponible en <http://idihcs.fahce.unlp.edu.ar/territoriosposibles/>.
- Coraggio, José Luis (2005). *Desarrollo regional, espacio local y economía social. Las regiones del Siglo XXI. Entre la globalización y la democracia local*. Distrito Federal México: Instituto Mora.
- De Ípola, Eugenio-director (2004) *El eterno retorno: acción y sistema en La teoría social contemporánea*. Buenos Aires: Biblos.
- De Sousa Santos, B. (2009). *Una epistemología del Sur. La reinención del conocimiento y la emancipación social*. México: Clacso y Siglo XXI.
- Fals Borda, O. (2009). *Antología 1925-2008. Una sociología sentipensante para América Latina*. Compilado por Víctor Manuel Moncayo. Bogotá: Siglo del Hombre Editores y Clacso.
- Fals Borda, O. (1986) *El problema de cómo investigar la realidad para transformarla*. Bogotá: Tercer Mundo.
- Freire, P. (1996) *Pedagogia da autonomia*. Río de Janeiro: Paz e Terra.
- Girardot, J.J. (2004). Intelligence territoriale et participation. *Journal International des Sciences de l'Information et de la Communication (ISDM)*, 16, art. 161. Recuperado de http://isdms.univ-tln.fr/PDF/isdms16/isdms16a161_girardot.pdf.
- Girardot, J.-J. (2009). Evolution of the concept of territorial intelligence within the coordination action of the European network of territorial intelligence. *RES Ricerca e Sviluppo per le politiche sociali*, 1(2) pp.11-29.





- Girardot, J.-J. (2012). Seis hitos en la creación y el desarrollo de la inteligencia territorial. En: H. Bozzano, J.-J. Girardot, G. Cirio, C. Barrionuevo & F. Gliemmo (eds.), *Inteligencia territorial: teoría, métodos e iniciativas en Europa y América Latina* (pp. 30-37). La Plata: Edulp.
- Madoery, O. (2007). *Otro desarrollo. El cambio desde las ciudades y regiones*. Buenos Aires: Universidad Nacional de San Martín (UNSAM).
- Madoery, O. (2016) *Los desarrollos latinoamericanos y sus controversias*. Ushuaia: Universidad Nacional de Tierra del Fuego (UNTDF).
- Marradi, A.; Archenti, N. y Piovani, J. I. (2007), *Metodología de las Ciencias Sociales*. Buenos Aires: Emecé
- Long, Norman (2007) *Sociología del Desarrollo: Una perspectiva centrada en el actor*. México: Editorial El Colegio de San Luis-CIESAS,
- Martín-Barbero, J. (2003). *De los medios a las mediaciones. Comunicación, cultura y hegemonía*. 5ª ed. Bogotá: Convenio Andrés Bello y Gustavo Gili. Colección Pensamiento Latinoamericano.
- MEC-IDL-INTI-CLAEH (2014) *Sistematización de Actividades Octubre 2012-Noviembre 2013 "Formación Inteligencia Territorial Uruguay 2012-2015"*. Ministerio de Educación y Cultura de Uruguay, Intendencia Departamental de Lavalleya, International Network of Territorial Intelligence e Instituto Universitario CLAEH.
- Muller, Pierre (2002). *Las Políticas Públicas*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Prigogine, Ilya (1996) *El fin de las certidumbres*. Santiago de Chile: Andrés Bello.
- Rodríguez-Pose, A. (2013). *Do institutions matter for regional development in the EU?* Regional Studies.
- Robirosa, Mario (1989) Estrategias para la Viabilización Eficiente y Eficaz de Proyectos de Desarrollo Popular. *Revista Desarrollo Económico*, 29(115), Octubre-Diciembre, Buenos Aires.
- Rodriguez Villasante, Tomás (2007a), *Research-Action Applied to Territorial Development*. En: Acts of International Conference of Territorial Intelligence. Huelva, España.
- Rodriguez Villasante, Tomás (2007b), Una articulación metodológica: desde texto del Socio-análisis, I(A)P, F.Praxis, E.F.Keller, Boaventura S.Santos *Revista Política y Sociedad*, 44(1), pp. 141-157





- Saquet, M. A. (2015). *Por una geografía de las territorialidades y las temporalidades Una concepción multidimensional orientada a la cooperación y el desarrollo territorial*. La Plata: file:///C:/Users/karoll%20piza%20amado/Downloads/SAQUET%202015%20EM%20ESPANHOL.pdf
- Santos, M. (1996). *La naturaleza del espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción*. Barcelona: Ariel.
- Santos, M. (2000). *Por uma outra globalização, do pensamento único a consciencia universal*. Río de Janeiro: Record.
- Sautú, Ruth et al (2005) *Manual de metodología. Construcción del marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología*. Colección Campus Virtual, Clacso Libros, Buenos Aires
- Serres, Michel (1995) *Atlas*. Colección Teorema, Ed. Cátedra, Madrid. 1995
- Wright, E. O. (2015). *Construyendo utopías reales*. Buenos Aires: Akal.
- Wright, E. O. (2009). *Imaginando utopías reales*. [Conferencia]. Recuperado de <https://www.ssc.wisc.edu/~wright/Published%20writing/Conferencia%20de%20Erik%20Olin%20Wright%20%20--%20University%20of%20Buenos%20Aires%202007.pdf>.
- Zaritzky, Noemí, J.Pérez Calderón y V.Santos (2016) Aplicación de quitosano para la desestabilización de emulsiones O/W (petróleo/agua) y clarificación de aguas residuales. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA UNLP-Conicet- CIC) y Depto de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Informe Técnico (inédito), La Plata
- Zemelman, Hugo (1997). *Conocimiento y sujetos sociales. Contribución al estudio del presente*. México: Centro de Estudios Sociológicos, El Colegio de México





CIAF

Desarrollo de **8 programas de formación** avanzada en convenio con universidades:

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Maestría en Geografía y Doctorado en Geografía
Universidad Nacional de Colombia	Maestría en Geomática
Universidad Católica de Manizales	Maestría en Teledetección
Universidad de Manizales	Especialización en Sistemas de Información Geográfica
Universidad Francisco José de Caldas	Especialización en Sistemas de Información Geográfica y Especialización en Avalúos
Universidad Sergio Arboleda	Maestría en Gestión de Información y Desarrollo de Tecnologías Geoespaciales



1967 • 2019

Centro de Investigación y Desarrollo
de Información Geográfica - CIAF



Más de 440 colombianos
capacitados y 170 extranjeros



Análisis basado en objetos de imágenes Vexcel UltraCam D para detectar conjuntos residenciales en los municipios de Pereira y Dosquebradas con fines de precenso catastral por parte del IGAC

Object based images Vexcel UltraCam D analysis to detect residential complexes in the municipalities of Pereira and Dosquebradas with the purpose of cadastral pre-census of IGAC

Pedro Emilio Caicedo Ríos¹

Resumen

Esta investigación presenta un análisis basado en objetos para detectar conjuntos residenciales sobre tres áreas de estudio en los municipios de Pereira y Dosquebradas (departamento de Risaralda) que han tenido un desarrollo urbanístico importante durante el periodo 2005-2014, principalmente de conjuntos residenciales. El análisis se abordó desde una perspectiva de conocimiento a priori de las áreas de estudio y bajo una estrategia de procesamiento arriba-abajo a partir de la cual se realizó la segmentación de imágenes tomadas el 29 de enero y el 12 de mayo del 2015 por el sensor aerotransportado Vexcel UltraCam D del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Durante la investigación se identificaron parámetros de condiciones espectrales, geométricas, de textura y contexto, que permitieron diferenciar conjuntos residenciales de los demás objetos presentes en las imágenes. Se procesaron en total 251 imágenes (pares estereoscópicos) a partir de las cuales se derivaron modelos digitales de superficie (MDS) de las zonas de estudio, a los que se aplicaron diferentes filtros de pendiente y remoción de imperfecciones a fin de obtener modelos digitales de terreno (MDT) para conseguir información sobre la altura de los objetos. Se aplicó el algoritmo de modelo empírico lineal para la calibración radiométrica de las imágenes, que requirió coleccionar sobre la zona de estudio firmas espectrales de diferentes coberturas, tales como: suelo desnudo, piscinas, vegetación, césped y elementos antrópicos como vías en asfalto y concreto, tejas (asbesto, barro, española, fibrocemento, zinc, termo acústica) entre otros. Se alcanzó una exactitud en la clasificación de conjuntos residenciales del 82,85%.

Palabras clave: imágenes Vexcel UltraCam D, objetos, espectral, textura, geometría, relaciones contextuales, reflectancia, modelo digital de terreno (MDT), modelo digital de superficie (MDS).

¹ Magíster en Teledetección. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Correo: pecaicedo@igac.gov.co.





Abstract

This research presents an object - based analysis to detect residential complexes on three study areas in the municipalities of Pereira and Dosquebradas (Department of Risaralda) that have had an important urban development during the period 2005-2014, mainly residential complexes. The analysis was approached from an a priori knowledge perspective of the study areas and under a top-down processing strategy from which the segmentation of images taken on January 29 and May 12, 2015 by the sensor

Airborne Vexcel UltraCam D of the Agustín Codazzi Geographic Institute (IGAC). During the investigation parameters of spectral, geometric, texture and context conditions were identified, which allowed to distinguish residential complexes of the other objects present in the images. A total of 251 images (stereoscopic pairs) were processed from which digital surface models (MDS) were derived from the study areas, on which different slope filters and imperfection removal were applied in order to obtain digital models of (MDT), in order to know height information of objects. The algorithm of a linear empirical model was used for radiometric calibration of the images, which required spectral signatures of different coverages such as: bare soil, swimming pools, vegetation, grass and anthropic elements (asbestos, clay, Spanish, fiber cement, zinc, thermo acoustics), among others, achieving an accuracy in the classification of residential complexes of 82.85%.

Keywords: *Vexcel UltraCam D images, objects, spectral, texture, geometry, contextual relationships, reflectance, digital terrain model (DTM), digital surface model (DSM).*



Introducción

El análisis de imágenes basado en objetos busca que los computadores imiten lo más cercanamente posible el acto de interpretación de imágenes realizado por el cerebro humano, asumiendo que un sistema de visión humano, a partir de un conocimiento previo de características, identifica fácilmente objetos, discriminándolos con respecto a su entorno dentro de una imagen digital (Navulur, 2007).

En las imágenes Vexcel UltraCam D de los municipios de Pereira y Dosquebradas pueden observarse aspectos recurrentes en las áreas donde existen los conjuntos residenciales, como vías internas a base de asfalto, concreto y baldosa adoquín que no están demarcadas dentro del vector de nomenclatura vial pública municipal, existencia de piscinas, tejados hechos de materiales predominantemente a base de fibrocemento, arcilla y policarbonato, entre otros, amplias zonas verdes, así como una diferencia de altura constante entre el terreno y el techo de las viviendas (dada la homogeneidad en el diseño arquitectónico de las unidades de construcción), canchas de tenis, sintéticas y de concreto, entre otras muchas características. Por tal razón, los sitios donde todos o algunos de los objetos mencionados coexistan muy cerca espacialmente tendrían una alta posibilidad de conformar un conjunto residencial.

Actualmente, las imágenes del sensor Vexcel UltraCam D tomadas desde el avión del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) son uno de los principales insumos de trabajo en las oficinas territoriales de la entidad para la realización de la gestión catastral. Dependiendo de la escala y el objetivo de la misión, pueden alcanzar resoluciones entre los 7 a 30 centímetros, lo que propicia escenarios ideales para realizar análisis basados en objetos sobre las mismas.

Al procesar digitalmente las imágenes Vexcel UltraCam D en pares estereoscópicos, se obtuvo información como: modelos digitales de elevación a nivel de superficie y terreno que permiten considerar la forma y la altura de los objetos, medidas de textura para conocer patrones de distribución espacial de píxeles (Haralick, Shanmugam & Dinstein, 1973), reflectancia de los objetos y coberturas a partir del cotejamiento con bibliotecas espectrales de referencia.

Desarrollo teórico y metodológico

Desarrollo teórico

Zona de estudio

La zona de estudio está localizada en los municipios de Pereira y Dosquebradas, en el departamento de Risaralda, en la zona centro-occidente de Colombia (figura 1). Su centro de coordenadas está en los 4° 47' 42,88" norte y los 75° 42' 40,072" occidente para el dátum de origen Magna Colombia Oeste, con una altitud promedio de 1.450 metros sobre el nivel del mar que le permite contar con temperaturas que pueden ir desde los 16 a los 26 °C la mayor parte del tiempo.

La extensión total de la zona de estudio es de 111,74 km², de la cual 72,08 km² corresponde al área rural del municipio de Pereira y 21,90 km² a su parte urbana. Para el municipio de Dosquebradas, la proporción es de 8,18 km² para la parte rural y 9,58 km² en la parte urbana.



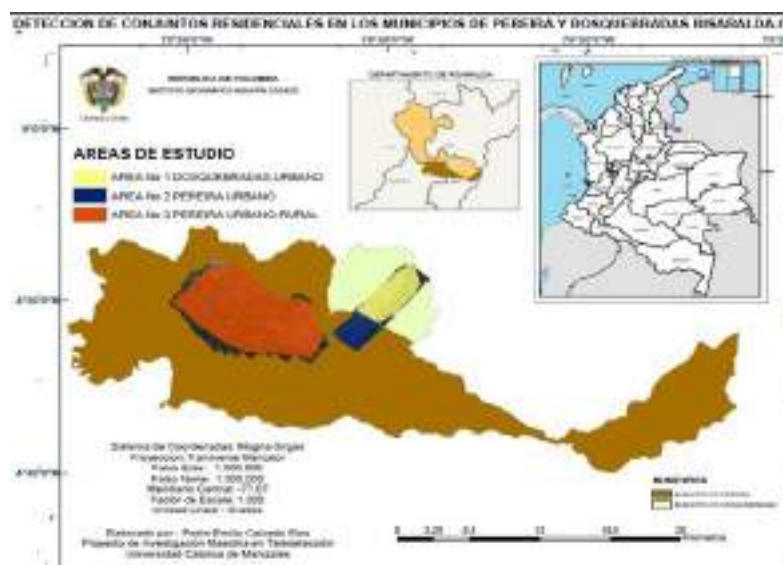


Figura 1. Zona de estudio en los municipios de Pereira y Dosquebradas
Fuente: elaboración propia a partir de información del IGAC, Territorial Risaralda (2016).

Catastro

El inventario o censo, debidamente actualizado y clasificado, de los bienes inmuebles pertenecientes al Estado y a los particulares, con el objeto de lograr su correcta identificación física, jurídica, fiscal y económica es denominado *catastro* (IGAC, 2010).

Precenso catastral

El precenso catastral corresponde a la inspección de todos los predios de una unidad orgánica catastral o parte de esta, para encontrar diferencias entre la información de la base de datos catastral, gráfica y alfanumérica, y la realidad observada (nuevos desarrollos, mayores áreas construidas, cambios de uso o de destino económico, demoliciones, avances de obra, etc.). Inspección que, como se anotó, permitirá validar o desechar adicionalmente marcas de predios que se dieron como consecuencia del diagnóstico de base de datos y análisis de otras fuentes de información.

Imágenes Vexcel UltraCam D

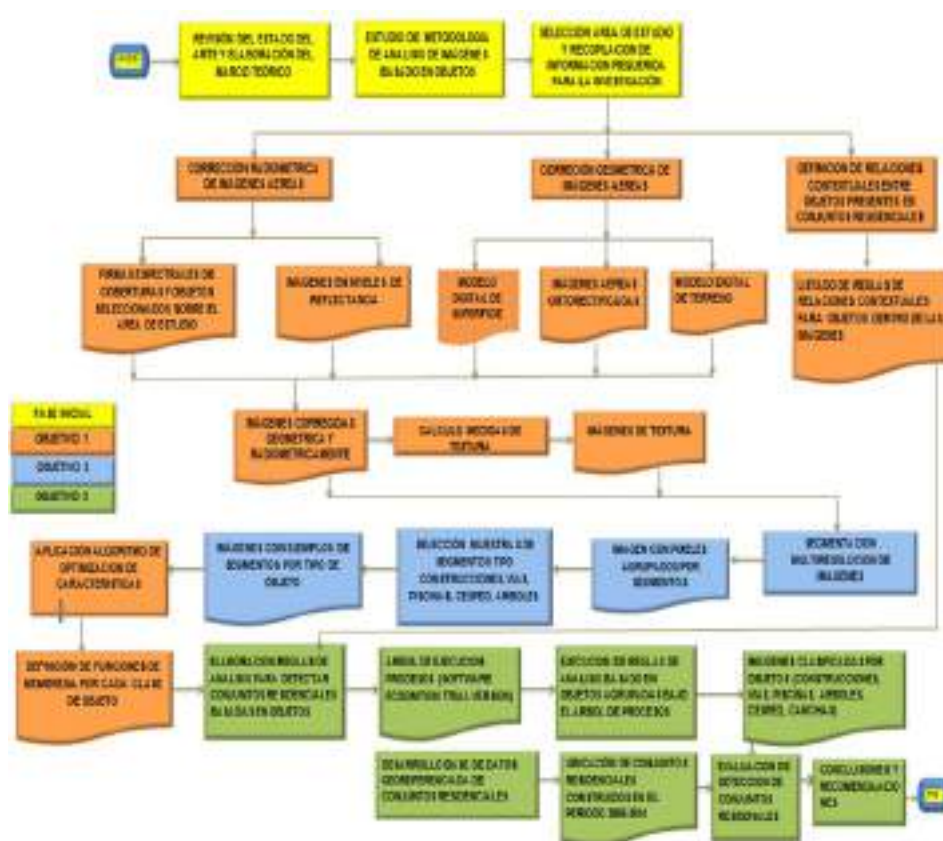
El IGAC cuenta con el sensor Vexcel UltraCam D que es transportado en la aeronave de la entidad (figura 2). Las imágenes obtenidas son utilizadas para labores de restitución fotogramétrica a fin de generar cartografía básica y ortofotografías, que se componen de tres bandas en el rango del visible (azul, verde, rojo) y la banda del infrarrojo cercano NIR que, para el momento, no está siendo utilizada en la Subdirección de Catastro para generar alguna clase de información o producto. Para esta investigación son de vital importancia los datos que se encuentran en dicha banda, puesto que a partir de la definición y el cálculo de índices espectrales sobre esta, entre otras cosas, se puede diferenciar la vegetación de tipo arbórea, que suele confundirse con las construcciones si se evalúa únicamente información sobre la altura de los objetos.



Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF) del IGAC

Desarrollo metodológico

El desarrollo metodológico dentro de la investigación se define como de tipo cuantitativo experimental, se esquematiza por un flujo de procesos (figura 3) que implica la entrada y el procesamiento de datos para, posteriormente, generar información de productos concretos, como imágenes, modelos digitales y listados, entre otros.



Fuente: elaboración propia.



Selección del área de estudio y recopilación de información requerida para la investigación

Para la investigación se procesaron 251 imágenes Vexcel UltraCam D correspondientes a tres áreas de estudio ubicadas en los municipios de Pereira y Dosquebradas, en el departamento de Risaralda, Colombia, tomadas el 29 de enero y el 12 de mayo de 2015 en nueve líneas de vuelo, en el horario comprendido entre las 11.00 a. m. y las 2.00 p. m. Las imágenes no se encontraban corregidas ni geométrica ni radiométricamente; la corrección geométrica se realizó colectando puntos de control de terreno a partir de dos imágenes de referencia ortorrectificadas de los municipios de Pereira (2007) y Dosquebradas (2009). Esta labor se realizó acatando lo definido por la guía técnica de corrección geométrica del software PCI Geomatics (PCI Geomatics Enterprises, 2016), donde se señala se deben coleccionar como mínimo tres puntos de control de terreno por cada cinco modelos estereoscópicos, e igual o mayor número de puntos de amarre en aquellas zonas donde se presente el solapamiento entre imágenes.

Corrección geométrica de imágenes Vexcel UltraCam D

La corrección geométrica de las imágenes Vexcel UltraCam D se hizo conforme el flujo de trabajo propuesto por la guía de entrenamiento de la solución geoprocesamiento GXL (PCI Geomatics Enterprises, 2016) utilizada para tal labor (figura 4).

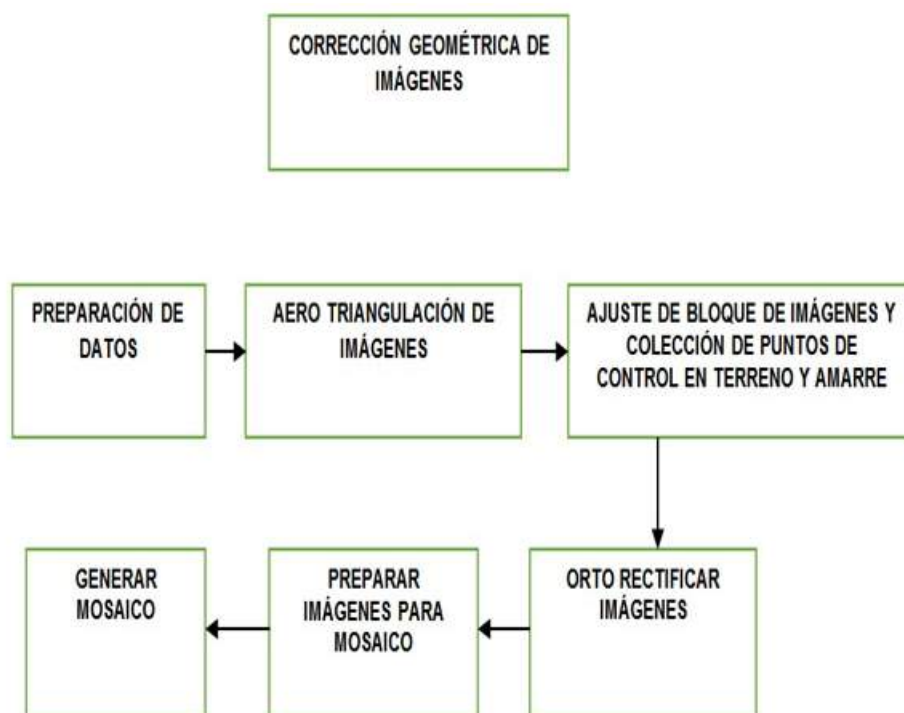


Figura 4. Flujo de trabajo

Fuente: elaboración propia a partir de PCI Geomatics Enterprises, 2016.

De donde se derivaron los modelos de elevación a nivel de superficie (figuras 5 y 6) y terreno (figuras 7 y 8) además de las ortofotos (figuras 9 y 10) por cada área de estudio.

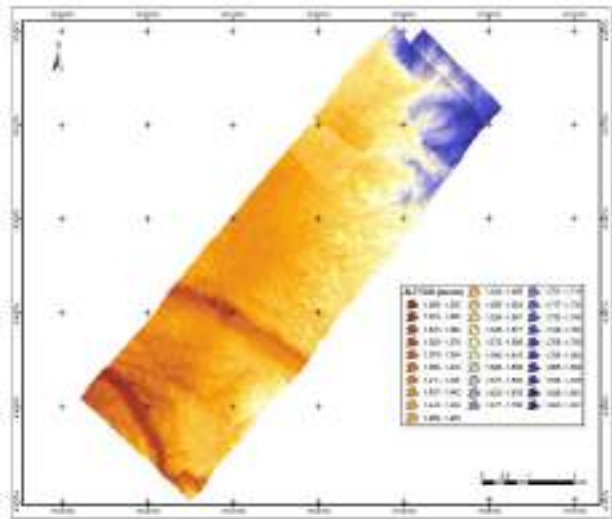


Figura 5. Modelo digital a nivel de superficie área de estudio N° 1 y 2 MDS, tamaño pixel = 60

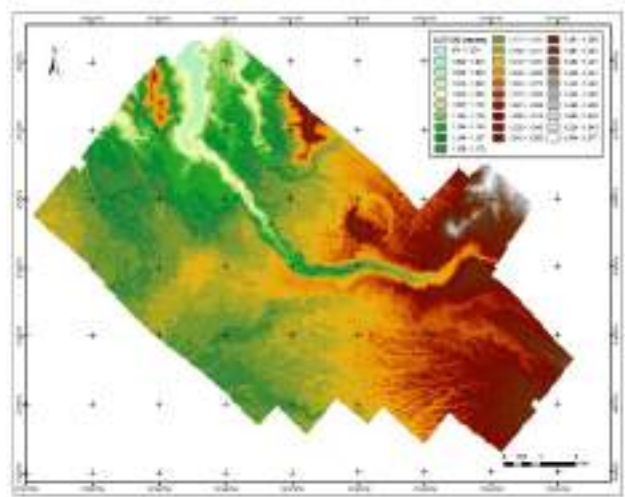


Figura 6. Modelo digital a nivel de superficie área de estudio N° 3 MDS, pixel = 60 cm

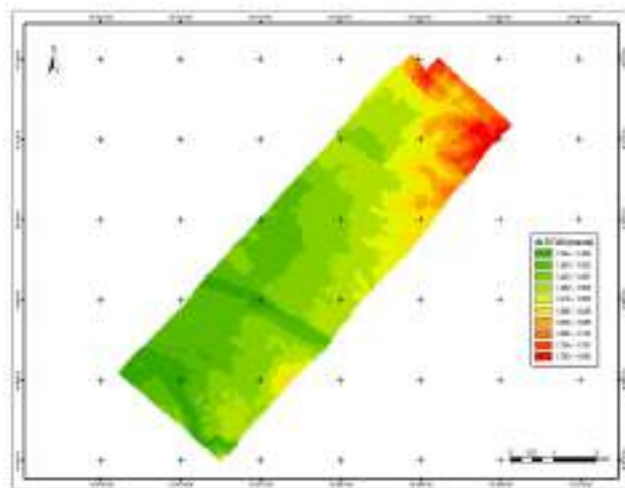


Figura 7. Modelo digital a nivel de terreno del área de estudio N° 1 y 2 MDT, pixel = 60 cm

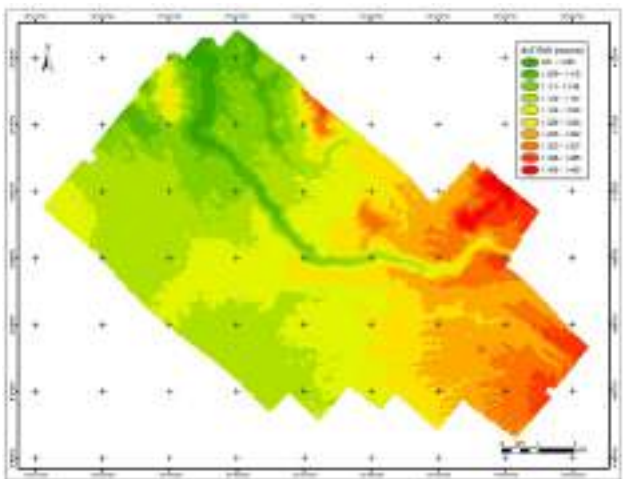


Figura 8. Modelo digital a nivel de terreno del área de estudio N° 1 y 2 MDT, pixel = 60 cm

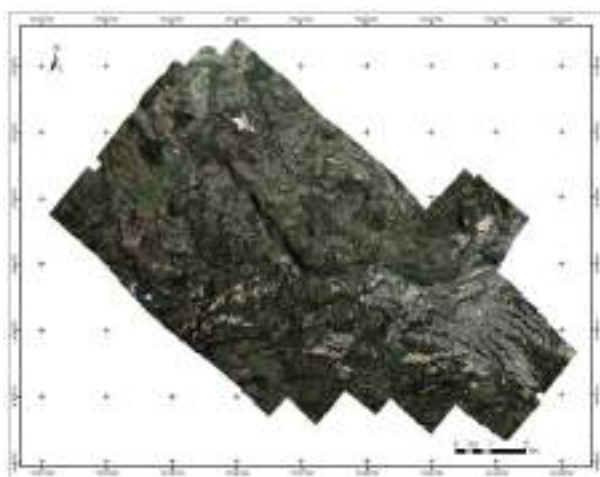


Figura 9. Ortofoto área de estudio N° 1 y 2

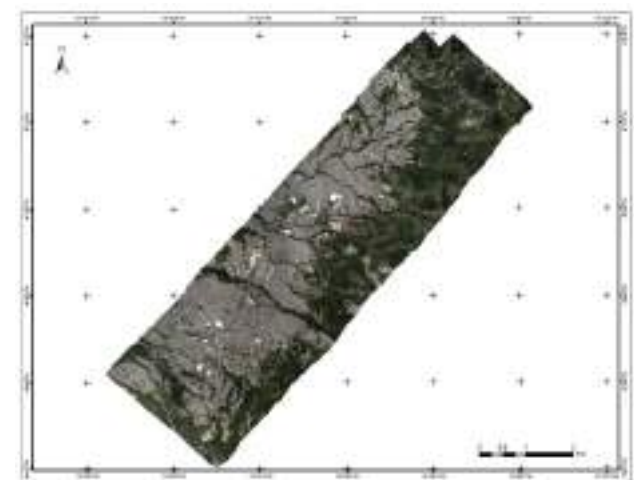


Figura 10. Ortofoto área de estudio N° 3, pixel = 30 cm

Fuente: elaboración propia.





Para las áreas de estudio 1 y 2 (figura 9) se establecieron 28 puntos de control en terreno tomados a partir del mosaico de imágenes ortorrectificadas de los municipios de Pereira (2007) y Dosquebradas (2010) (figura 34) respectivamente con un error medio cuadrático en $X = 0,302$ m, $Y = 0,281$ m. A su vez, se establecieron 10 puntos de amarre manualmente y a partir de estos se colectaron automática de 300 puntos² con un error medio cuadrático en $X = 0,010$, $Y = 0,009$, $Z = 0,026$. Exactitud aceptable si se considera que la resolución de la imagen es de 30 cm por pixel de conformidad con lo especificado en el *Instructivo de aerotriangulación digital* del IGAC (2014).

En el caso del área de estudio N° 3 se establecieron 32 puntos de control en terreno a partir de la imagen ortorrectificada del municipio de Pereira tomada en el 2007, con un error medio cuadrático en $X = 0,377$ m, $Y = 0,375$ m. Al tiempo, se establecieron 20 puntos de amarre manual a partir de los cuales se colectaron automática 7.594 puntos de amarre con un error medio cuadrático en $X = 0,135$ m, $Y = 0,144$ m, $Z = 0,293$ m.

Corrección radiométrica de imágenes Vexcel UltraCam D

A partir de los datos de radiancia en el rango espectral comprendido entre los 380 y 980 nanómetros consignados en el reporte de calibración del año 2013 para el sensor Vexcel UltraCam D del IGAC (Vexcel Imaging Company, 2013), se procedió a calcular el ancho a media altura espectral (FWHM) mediante el enfoque de determinación instrumental.

Donde X_A y X_B representan los valores de longitud de onda más cercanos, tanto por izquierda como derecha, al valor de radiancia media calculada para cada banda del sensor. Para el enfoque de determinación instrumental, el comportamiento de la radiancia en un rango espectral es asimilado a una distribución normal (figura 11). Aplicadas las ecuaciones 1 y 2, se obtienen los valores para determinar el ancho a media altura espectral FWHM o centro para cada banda. Se programó y ejecuto una campaña de campo para recolectar firmas espectrales de coberturas y objetos cuya presencia era recurrente en los lugares donde existían conjuntos residenciales. Algunas de las firmas obtenidas se muestran a continuación (figuras 12, 13 y 14), donde:

Y_{\max} = Valor de radiancia máximo para la banda respectiva del sensor en su reporte de calibración.

Y_{\min} = Valor de radiancia mínima para la banda respectiva del sensor en su reporte de calibración.

Y_{media} = Valor medio de radiancia obtenido partir de la radiancia máxima y mínima para la banda respectiva del sensor en su reporte de calibración.

X_{media} = Valor de longitud de onda para la respectiva banda del sensor al que corresponde la radiancia Y_{media} .

X_1 = Primer valor de longitud de onda más cercano por la parte derecha al X_{media} para la respectiva banda del sensor.

X_0 = Segundo valor de longitud de onda más cercano por la parte derecha al X_{media} para la respectiva banda del sensor.

² Punto cuyas coordenadas terrestres no son conocidas, pero puede ser reconocido visualmente en el área de traslapo entre dos imágenes (punto homólogo).





X_1' = Primer valor de longitud de onda más cercano por la parte izquierda al X_{media} para la respectiva banda del sensor.

X_0' = Segundo valor de longitud de onda más cercano por la parte izquierda al X_{media} para la respectiva banda del sensor.

Resolución espectral = Valor correspondiente al ancho espectral para la respectiva banda del sensor.

FWHM = Centro de banda calculado para la respectiva banda del sensor.

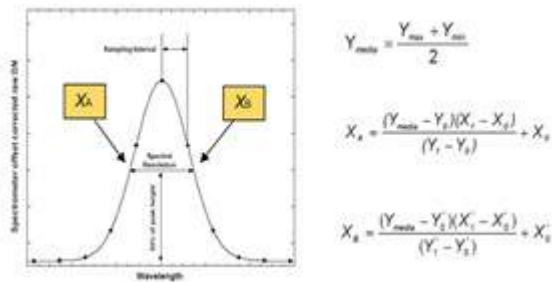


Figura 11. Determinación instrumental del ancho a media altura espectral
Fuente: Ariza, 2015.

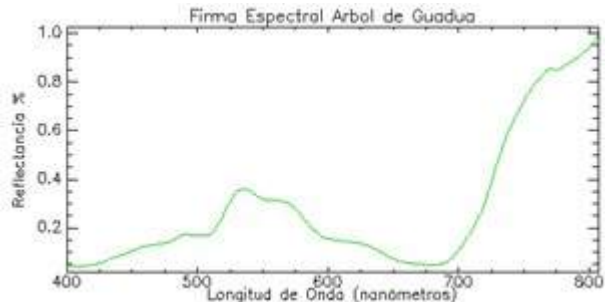


Figura 12. Firma espectral de árbol de guadua representada en niveles de reflectancia y longitud de onda en nanómetros
Fuente: elaboración propia.



Figura 13. Firma espectral de asfalto representada en niveles de reflectancia y longitud de onda en nanómetros
Fuente: elaboración propia.

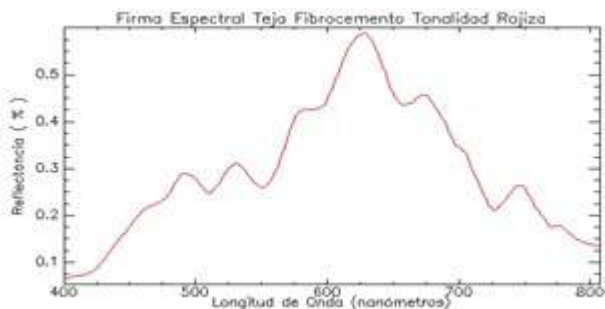


Figura 14. Firma espectral de teja de fibrocemento de tonalidad rojiza
Fuente: elaboración propia.

$$\text{Resolución espectral} = X_B - X_A \quad (1)$$

$$\text{FWHM} = X_A + \left(\frac{\text{resolución espectral}}{2} \right) \quad (2)$$

La corrección radiométrica se realizó aplicando un modelo empírico lineal que, para las áreas urbanas de la zona de estudio, requirió las siguientes firmas: a) blanco de referencia, b) sombra de construcción, c) piscina, d) teja de barro, e) asfalto, f) suelo desnudo, g) cancha de tenis, h) teja fibrocemento rojiza e i) césped sintético.

En el caso de la zona rural, la calibración se realizó con las siguientes firmas espectrales: a) blanco de referencia, b) sombra de construcción, c) piscina, d) teja de barro, e) asfalto, f) suelo desnudo y g) árbol de guadua.





Condiciones espectrales, te-xtura, geométricas y contextuales evaluadas

Medidas espectrales

Índice de áreas construídas:

$$BAI = \frac{(bandaazul - bandainfrarrojocercano)}{(bandaazul + bandainfrarrojocercano)} \quad (3)$$

Ratio banda infrarrojo cercano/banda azul (Vijjapu, 2013):

Índice de agua de diferencia normalizada (Navulur, 2007):

$$Rationir_{azul} = \frac{(bandainfrarrojocercano)}{(bandaazul)} \quad (8)$$

$$GNDVI = \frac{bdinfrarrojocercano - bdverde}{bdinfrarrojocercano + bdverde} \quad (4)$$

Ratio banda roja / banda verde (Vijjapu, 2013):

Índice de vegetación de diferencia normalizada (Tucker, 1979):

$$Ratiorojo - verde = \frac{(bandaroja)}{(bandaverde)} \quad (9)$$

$$NVDI = \frac{(bdinfrarrojocercano - bdroja)}{(bdinfrarrojocercano + bdroja)} \quad (5)$$

Intensidad (Vijjapu, 2013):

$$Intensidad = \frac{(bdas(azul + verde + rojo + infrar))}{4} \quad (10)$$

$$GRNVDI = \frac{(infrarrojocercano - (verde + rojo))}{(infrarrojocercano + (verde + rojo))} \quad (6)$$

Intensidad 2 (Vijjapu, 2013):

Ratio banda roja/banda azul (Vijjapu, 2013):

$$Intensidad2 = \frac{(bandas(verde + rojo + infrarrojo))}{4} \quad (11)$$

Índice de ratio de agua (Navulur, 2007):

$$Ratiorojo - azul = \frac{(bandaroja)}{(bandaazul)} \quad (7)$$

$$WRI = \frac{(bandas(Azul + verde + rojo + nir))}{4} \quad (12)$$

Medidas de textura

Se calcularon las siguientes medidas de textura para cada una de las imágenes de la zona de estudio (figuras 9 y 10) propuestas por Haralick et al. (1973), denotando i (la fila) y j (la columna) para cada pixel.

$$Media = \sum_{i,j=0}^{N-1} ip(i,j) \quad (13)$$

$$Varianza = \sum_{i,j=0}^{N-1} ip(i,j)(i - media)^2 \quad (15)$$

$$Contraste = \sum_{i,j=0}^{N-1} ip(i,j)(i - j)^2 \quad (14)$$

$$Segundomomentoangular = \sum_{i,j=0}^{N-1} i[p(i,j)]^2 \quad (16)$$

$$Correlacion = \sum_{i,j=0}^{N-1} ip(i,j) \left[\frac{(i - media)(j - media)}{\sqrt{varianza_i * varianza_j}} \right] \quad (17)$$





Medidas geométricas

Elongación: medida de la forma que indica la relación del eje mayor del objeto de la imagen al eje menor del mismo. Los ejes mayor y menor se derivan de un cuadro delimitador orientado que contiene el polígono. El valor de alargamiento de un cuadrado es 1,0, y el valor para un rectángulo es mayor que 1,0.

$\text{Elongación} = \text{Longitud mayor} / \text{Longitud menor}.$

Encaje rectangular: medida de forma que indica qué tan bien es descrito por un rectángulo el objeto de imagen. Este atributo compara el área del polígono con el área del cuadro delimitador orientado que encierra el polígono. El valor de ajuste rectangular para un rectángulo es 1,0, y el valor de una forma no rectangular es menor que 1,0.

$\text{Encaje rectangular} = \text{Area_objeto imagen} / (\text{Longitud mayor} * \text{Longitud menor}).$

$$\text{MDSNORMALIZADO} = \text{MDS} - \text{MDT} \quad (18)$$

Multirresolución por segmentación

Se inicializó aplicando a cada imagen una segmentación multirresolución usando los parámetros de escala, compacidad y forma propuestos por Benarchid et al. (2013) y Vijjapu (2013). Posteriormente se experimentó con diferentes valores de parámetros para la escala compacidad y forma hasta alcanzar segmentos de tejados en conjuntos residenciales lo más homogéneos posible a nivel de color y con forma preferiblemente rectangular.



Figura 15. Segmentación multirresolución
escala = 30, forma = 0,1 y compacidad = 0,5
Fuente: elaboración propia.



Figura 16. Segmentación multirresolución
escala = 30, forma = 0,5 y compacidad = 0,5
Fuente: elaboración propia.

Selección de muestras de objetos tipo tejados, vías, piscina, asfalto y concreto

Una vez las imágenes fueron segmentadas por el algoritmo de multirresolución usando los parámetros obtenidos a partir de la experimentación en la fase anterior, se procedió a seleccionar muestras de segmentos, diferenciando aquellos que pertenecen objetos que están a nivel del suelo de los que están por encima, así:





Tabla 1. Cantidad de muestras por clase

CLASE	TOTAL MUESTRAS
<i>Nivel del suelo</i>	
ASFALTO_CONCRETO_ZONAS_DURA	1.482
SUELO DESNUDO	479
CANCHA_TENIS	233
CÉSPED SINTÉTICO	201
SOMBRAS_CONSTRUCCIÓN	299
PISCINA	348
VEGETACIÓN	689
SOMBRAS_VEGETACIÓN	356
<i>Sobre el suelo</i>	
TEJADO GRIS	2.044
TEJADO ROJO_ROSADO	1.703
TEJADO BLANCO	1.211

Fuente: elaboración propia.

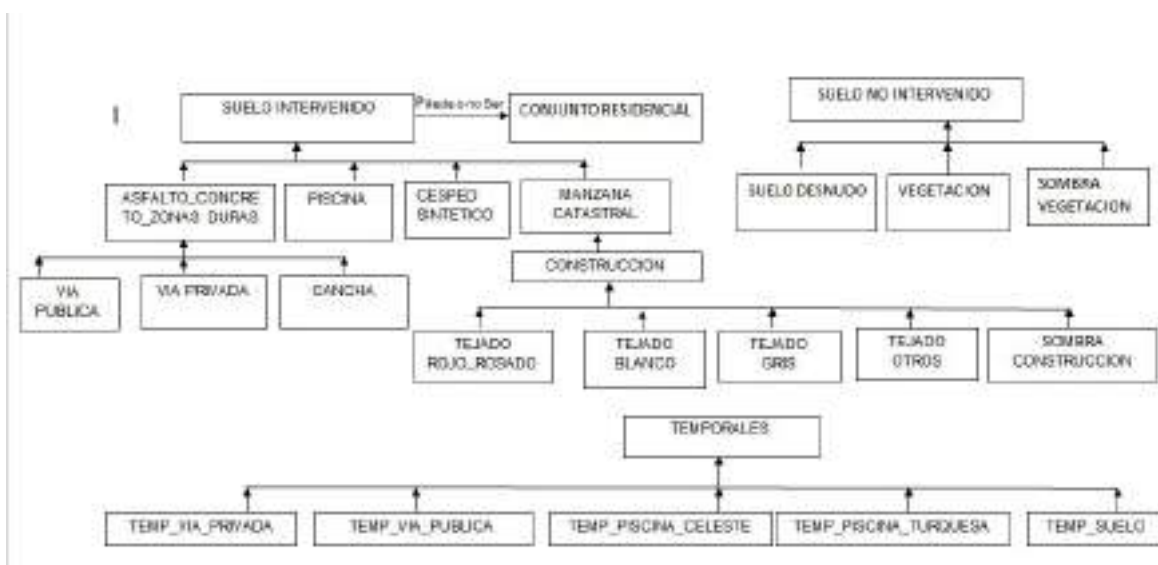


Figura 17. Diagrama jerárquico de clases para el análisis basado en objetos de la investigación

Fuente: elaboración propia.


Aplicación del algoritmo de optimización de características

Las medidas espectrales y de textura que ofrecieron mejor separación entre las diferentes parejas de clases de los segmentos tomados como muestra al aplicarse el algoritmo de optimización de espacio de características (columna derecha, tabla 2), al finalizar la etapa de experimentación, se registraron bajo la estructura descrita en la tabla 2.

Tabla 2. Mejores características para separación entre parejas de clases

CLASE	ASFALTO_CONCRETO_ZONAS_DURAS	SUELO DESNUDO	CANCHA TENIS	CESPED SINTETICO	SOMBRA CONSTRUCCION	PISCINA
ASFALTO_CONCRETO_ZONAS_DURAS	MEJORES CARACTERÍSTICAS PARA SEPARACIÓN ENTRE PAREJAS DE CLASES					
SUELO DESNUDO						
CANCHA TENIS						
CESPED SINTETICO						
SOMBRA CONSTRUCCION						
PISCINA						

Aplicación de algoritmos de optimización de espacio de características entre clases sombra de construcción y piscina



Fuente: elaboración propia.

Definición de funciones de membresía y valores umbrales por cada clase de objeto

Las funciones de mebresia describen el comportamiento de una medida (espectral, textural, geométrica) en terminos de la pareja (valor, % probabilidad de pertenecer a una clase). En este trabajo de investigación se determinaron las mejores medidas para clasificar cada una de las clases. Adicionalmente, se elaboró un tabla de frecuencias por cada una de las muestras y su correspondiente medida para determinar probabilidad de ocurrencia y, con base en esto, definir las respectivas funciones de membresía, tal como se ilustra a continuación para la clase *piscina* y el indice de areas construidas BAI (3).



Tabla 3. Ocurrencia de valores para las muestras de segmentos de la clase *piscina* para el índice de áreas construidas BAI

Valor	Probabilidad	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Frecuencia
0,36	0	0		0	0	0,000	0,00	0	0
0,37	0,57142857	0		1	1	0,000	1,00	1	4
0,38	0,57142857	0		1	1	0,000	1,00	1	4
0,39	0,57142857	0		1	1	0,000	1,00	1	4
0,4	0,57142857	0		1	0	1,000	1,00	1	4
0,41	0,57142857	0		1	0	1,000	1,00	1	4
0,42	0,57142857	0		1	0	1,000	1,00	1	4
0,43	0,71428571	1		1	0	1,000	1,00	1	5
0,44	0,85714286	1		1	1	1,000	1,00	1	6
0,45	0,85714286	1		1	1	1,000	1,00	1	6
0,46	0,85714286	1		1	1	1,000	1,00	1	6

Fuente: elaboración propia.

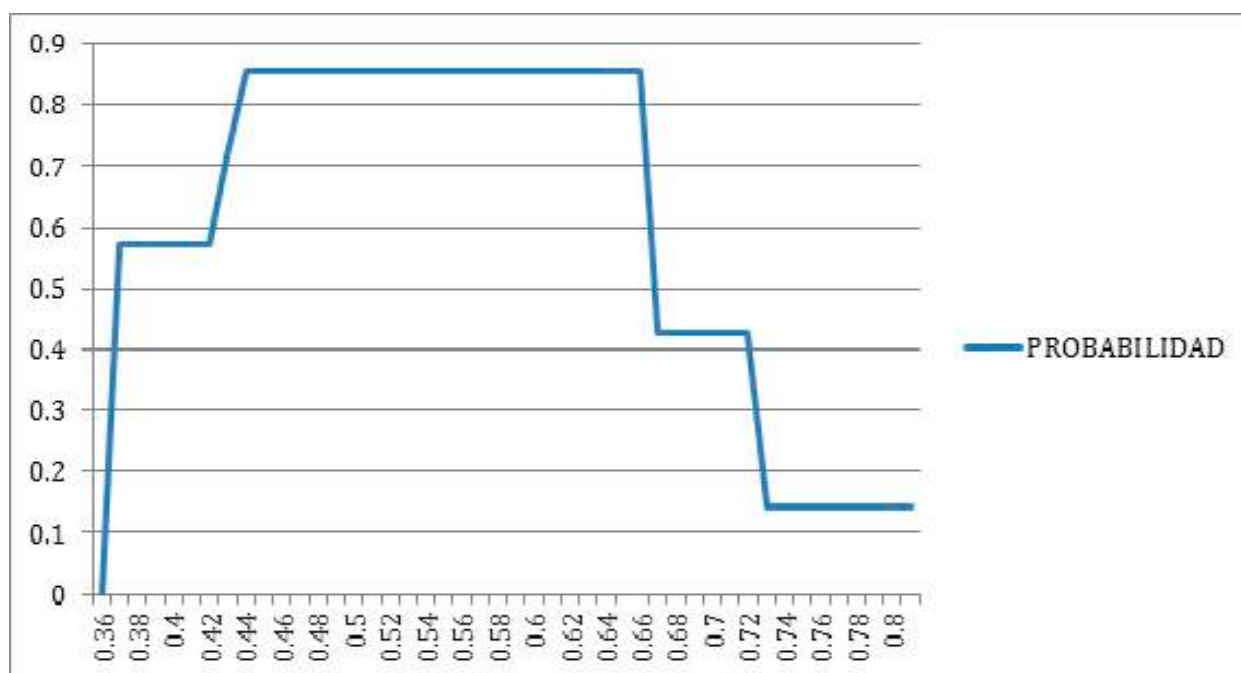


Figura 18. Función de membresía del índice de áreas construidas BAI (3) para la clase piscina

Fuente: elaboración propia.





Elaboración de reglas de análisis para detectar conjuntos residenciales en el software eCognition Trial 9.1.

Algoritmo de asignación de clases

El algoritmo de asignación de clases se utilizó principalmente para aquellos segmento que podían clasificarse a partir de máximo dos medidas y su correspondiente umbral, como fue el caso de aquellos pertenecientes a la clase *vegetación*, que podían ser clasificados a partir de la evaluación del índice normalizado de vegetación (figuras 19 y 20).

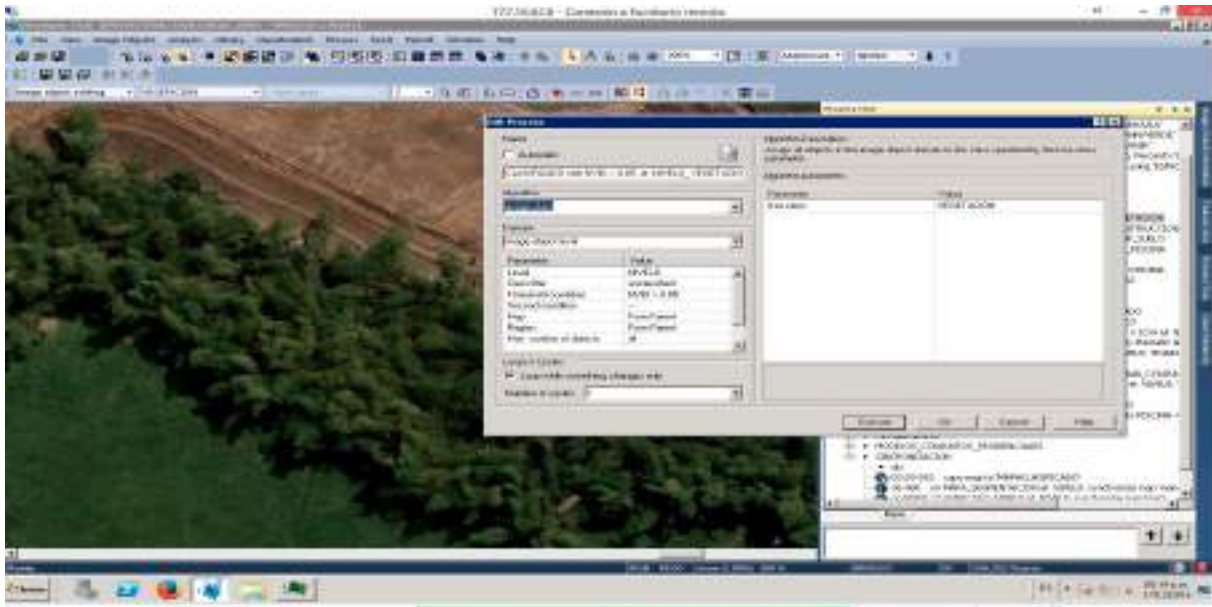


Figura 19. Imagen antes de aplicar regla de análisis para clasificar vegetación

Fuente: elaboración propia.

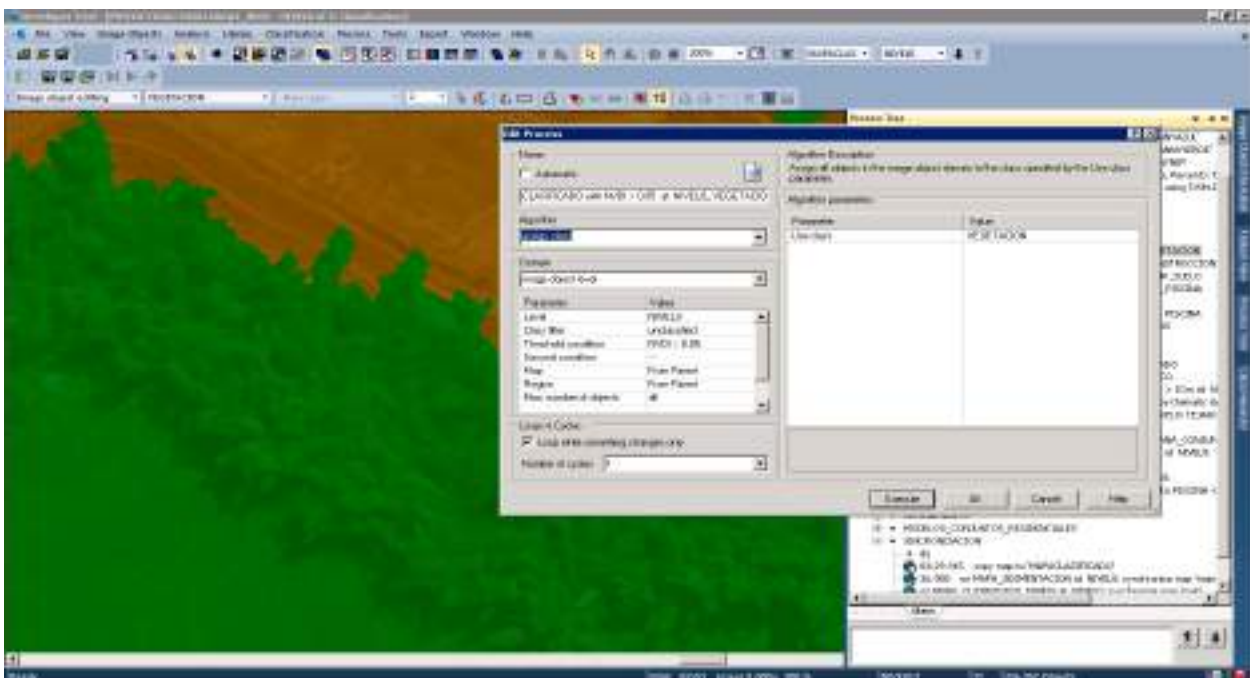


Figura 20. Imagen después de aplicar regla de análisis para clasificar vegetación

Fuente: elaboración propia.





Algoritmo de clasificación por funciones de membresía

El algoritmo de clasificación por funciones de membresía se utilizó para aquellos segmentos que solo podían categorizarse por la evaluación de las funciones de membresía obtenidas durante la fase de recolección de muestras y aplicación del algoritmo de optimización de características. Este fue el caso de los tejados de tonalidad roja, rosada y café, correspondientes a los materiales de arcilla, fibrocemento y barro respectivamente (figuras 21 y 22), (rosado = tejados rosados, azul = piscina, negro = asfalto, café = objetos a nivel de suelo).



Figura 21. Imagen antes de aplicar algoritmo
Fuente: Elaboración propia

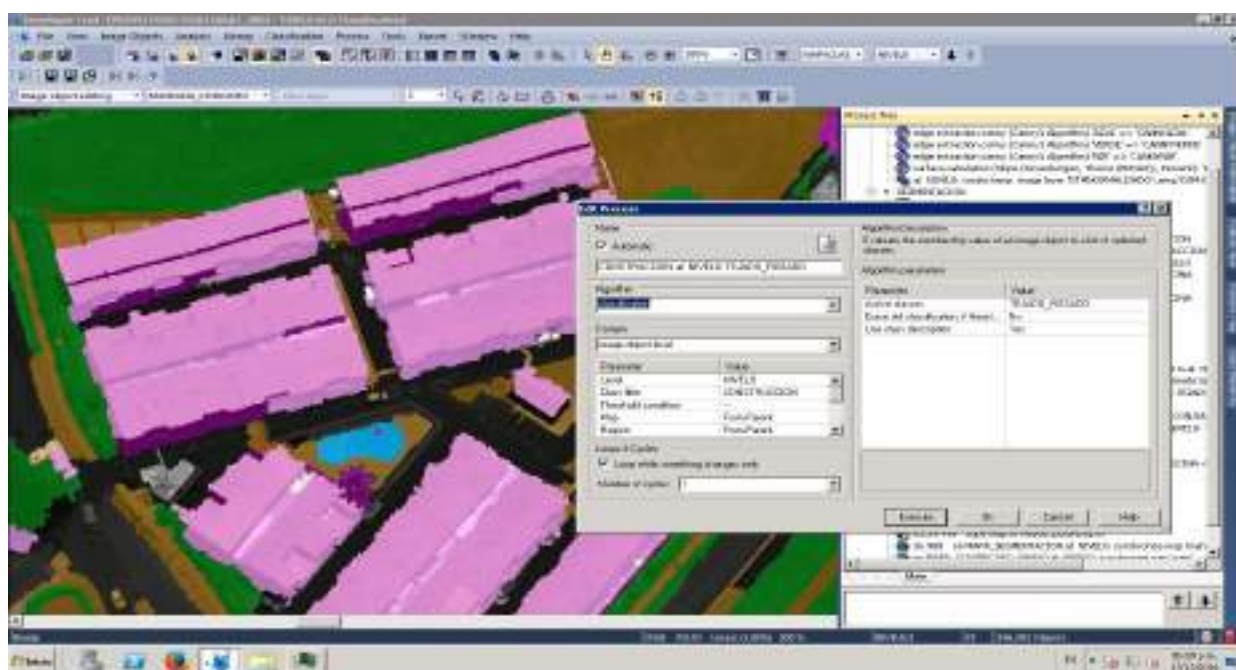


Figura 22. Imagen después de aplicar algoritmo
Fuente: elaboración propia.





Algoritmo de crecimiento por regiones

Este algoritmo se utilizó para agrupar segmentos que previamente hubiesen sido clasificados bajo una misma categoría o clase y que estuviesen contiguos espacialmente, es decir, que compartieran bordes. Este proceso de clasificación se utilizó, por ejemplo, para el caso de conformación de vías y manzanas catastrales (figuras 23 y 24).

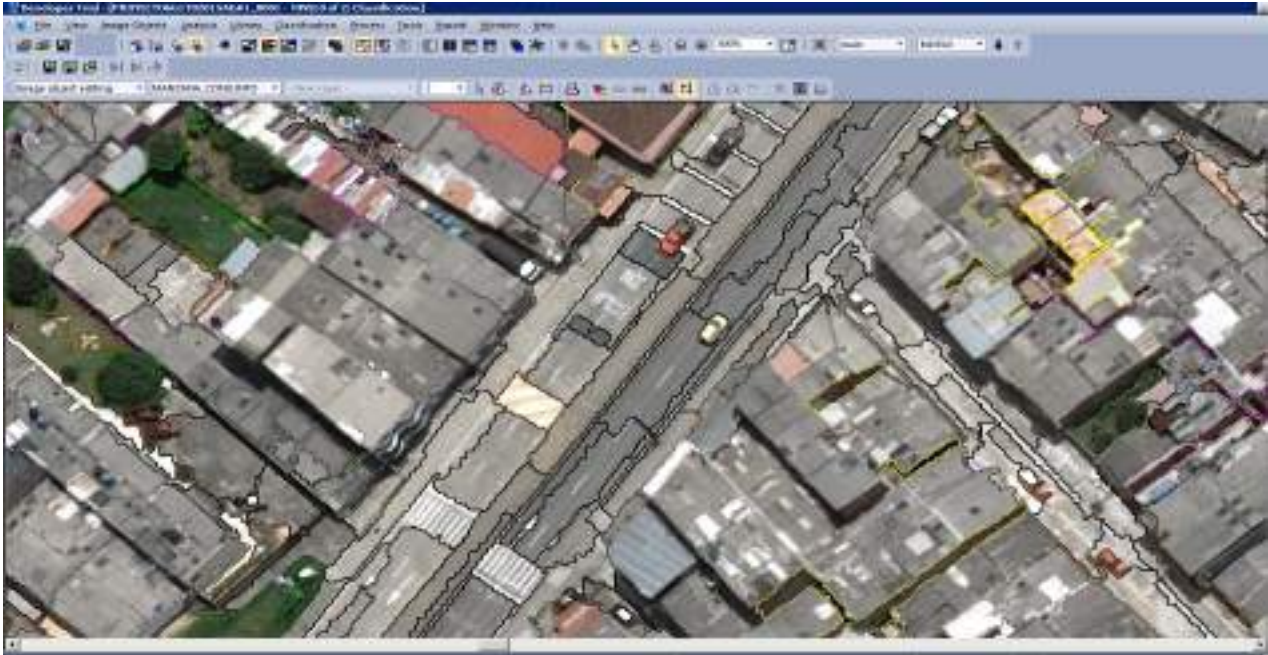


Figura 23. Segmentos clasificados como vías sin aplicar el algoritmo

Fuente: elaboración propia.

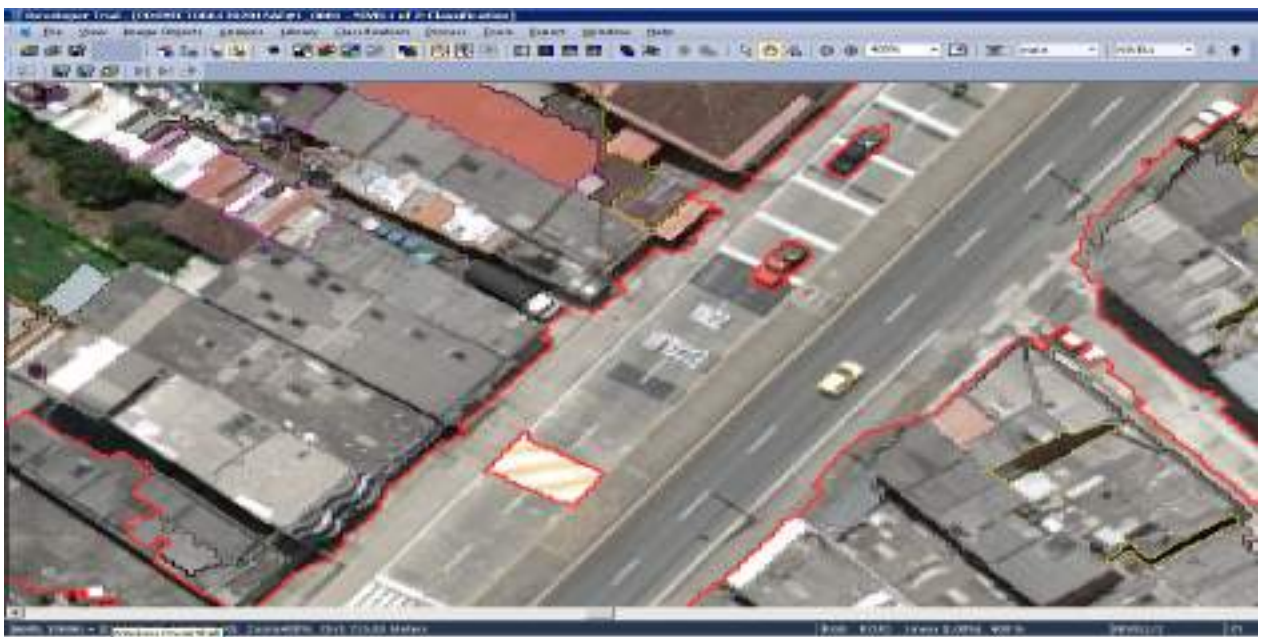


Figura 24. Objeto vía pública conformado por segmentos agrupados por el algoritmo de crecimiento por regiones

Fuente: elaboración propia.



Algoritmo para buscar objetos rodeados por clases

Este algoritmo fue utilizado principalmente para refinar la forma de tejados que por razones de diseño o diferencia de alturas presentan discontinuidades, como en el caso de los efectos por sombras (figuras 25 y 26), clases (amarillo = tejado a base de barro; púrpura = otros tejados, negros = sombras de construcción).

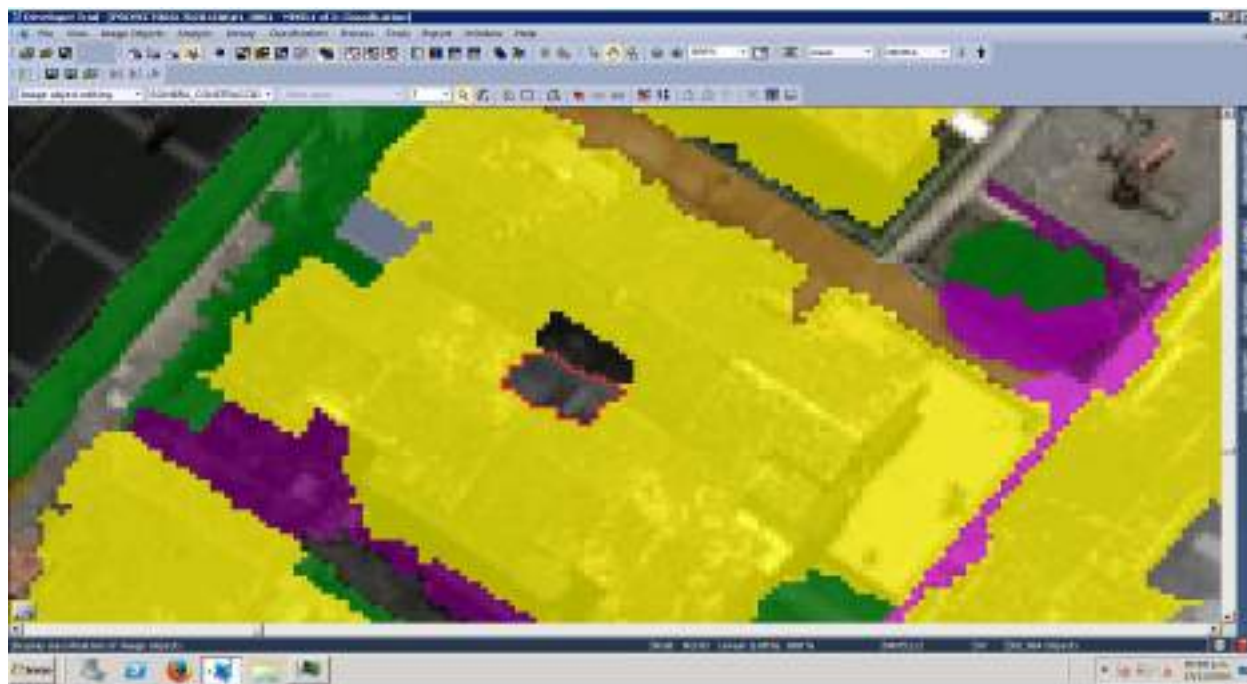


Figura 25. Imagen clasificada antes de aplicar el algoritmo para buscar objetos rodeados por clases
Fuente: elaboración propia.



Figura 26. Imagen después de aplicar el algoritmo
Fuente: elaboración propia.



Asignación de clase por capa temática

Este algoritmo fue usado para reclasificar objetos de la clase *asfalto o zonas duras*, como los objetos *vías públicas*, verificando si se interceptaban con el vector de nomenclatura vial pública para los municipios de Pereira y Dosquebradas.



Figura 27. Imagen antes de aplicar el algoritmo de asignación de clases por capa temática en un segmento clasificado como asfalto (gris claro)
Fuente: elaboración propia.



Figura 28. Imagen reclasificada con objetos de clase vía pública (color gris oscuro) después de aplicar el algoritmo de asignación de clases por capa temática
Fuente: elaboración propia.





Conclusiones

Se partió del conocimiento a priori de los esquema de composición prototipo superobjeto - subobjeto de un conjunto residencial rural (figura 29) y urbano (figura 30), donde se plantea que este debe estar formado por viviendas o torres de apartamentos contiguas con las mismas características de cubierta, vías internas hechas de un material como asfalto, concreto, baldosa en adoquín y espacios comunes para la recreación, como piscinas, canchas, etc. El esquema de composición superobjeto - subobjeto en la parte rural está dado básicamente por una secuencia de lotes intervenidos con una vivienda que, en la mayoría de los casos, usa teja de barro como cubierta, según datos consignados en el estudio de acabados del Departamento de estudios económicos y urbanos Camacol Risaralda (2016), y presenta una alta posibilidad de existencia de una piscina por cada unidad de loteo, con sus respectivas vías internas, rodeadas predominantemente de vegetación.

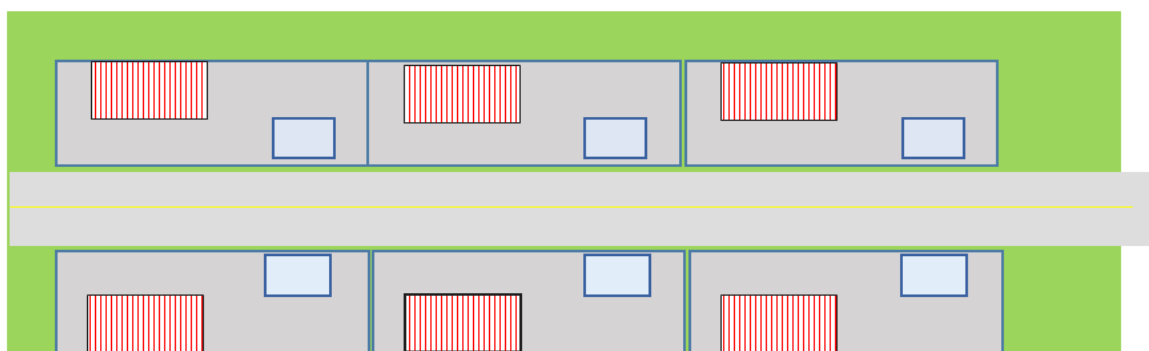


Figura 29. Esquema de composición de un conjunto residencial rural

Fuente: elaboración propia.

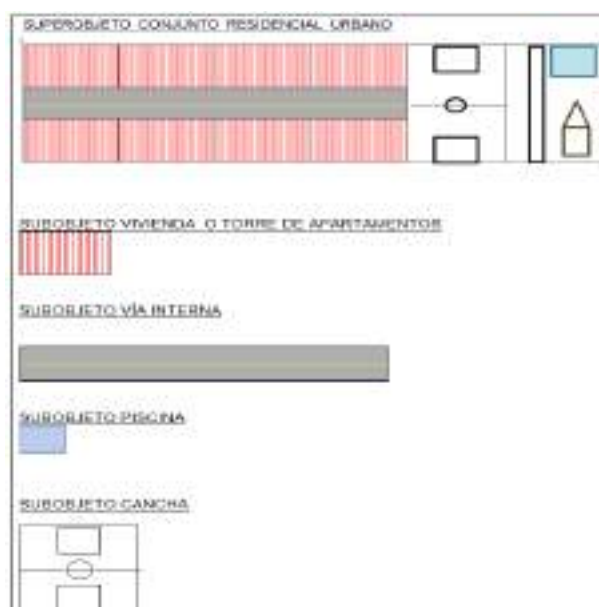


Figura 30. Esquema de composición de un conjunto residencial urbano

Fuente: elaboración propia.



Se segmentaron las imágenes siguiendo una estrategia de procesamiento arriba - abajo para separar vegetación, construcciones y suelo. Los segmentos correspondientes a objetos primitivos (Benz, Hofmann, Willhauck, Lingenfelder & Heynen, 2004) se obtuvieron al ejecutar el algoritmo de segmentación por multirresolución (Trimble Germany, 2014). Los parámetros para la imagen del área de estudio N° 3, para la parte rural, fueron: forma = 0,5, compacidad = 0,5, escala = 80. Para el caso de las imágenes de las áreas de estudio N° 1, 2 y 3, parte urbana, fueron: forma = 0,5, compacidad = 0,5, escala = 30. Inicialmente se clasificaron los segmentos cuyo NVDI (4) fuese mayor al evaluar los niveles de reflectancia como vegetación. Para el caso de los valores mayores a 0,2 en niveles digitales (figura 32) y que estuviesen contenidos por segmentos de vegetación, se clasificaron como *sombras de vegetación*.



Figura 31. Imagen original del área de estudio N° 3, parte urbana

Fuente: elaboración propia.

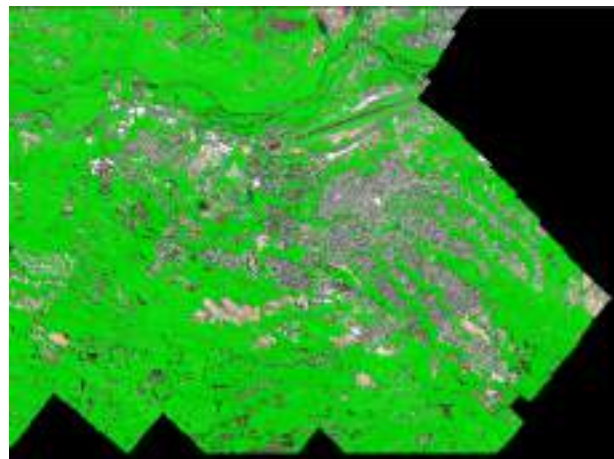


Figura 32. Imagen original del área de estudio N° 3, parte urbana

Fuente: elaboración propia.

Se determinó que los segmentos con valores MDS normalizado (18) mayores a 2,5 fueran clasificados como *construcción*; los valores entre 1,5 y 2,5 se evaluaron conjuntamente con relaciones contextuales para confirmar su clasificación como construcción, y los valores menores a 1,5 se clasificaron como "temp_suelo".



Figura 33. Imagen segmentada por nivel con vegetación y construcciones clasificadas

Fuente: elaboración propia.

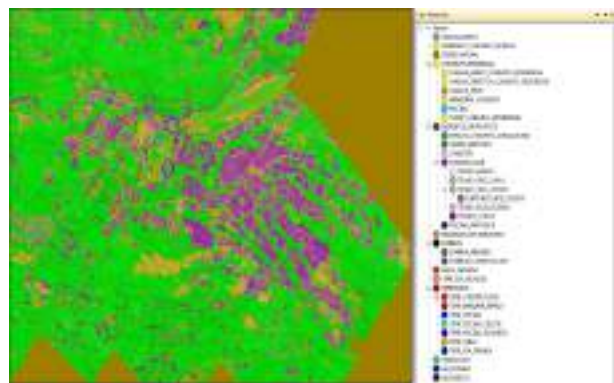


Figura 34. Imagen clasificada con vegetación (verde), construcciones (púrpura) y suelo (café)

Fuente: elaboración propia.





Se clasifica sucesivamente hacia subniveles de objetos como, por ejemplo, las construcciones que se separan por clases de tejados (blancos, rojizos, grises u otros tejados) y los objetos a nivel de suelo, diferenciando aquellos hechos a base de concreto o asfalto, césped sintético, suelo desnudo y piscinas, y se ejecutan las reglas de análisis basado en objetos con las siguientes medidas por clase: se aplicaron sucesivamente algoritmos de asignación y clasificación por funciones de membresía 2.2.9.1 y 2.2.9.2 de objetos sobre el suelo, tejados rosados, rojos, cafés, blancos, otros tejados y objetos a nivel del suelo como vías en asfalto, concreto, piscinas, canchas de tenis y césped sintético. Los tejados de tonalidad rosada, rojiza y blanca son muy característicos en los conjuntos residenciales ubicados en el área de estudio (un 46% cuenta con ellos), por lo que era indispensable diferenciarlos del resto de los tejados, dada su notoriedad frente a otros conjuntos residenciales.

Al finalizar la ejecución de las reglas de análisis sobre cada una de las imágenes se obtuvo la matriz de confusión para las clases de más alto nivel del esquema (figura 17).

Tabla 4. Matriz de confusión resultado de la clasificación basada en objetos

Polígonos (objetos)	Conjunto residencial	Construcciones	Vías públicas	Vegetación	Zonas duras	Total objetos clasificados
Conjunto residencial	116	7	0	0	2	125
Construcciones	20	41	0	0	1	62
Vías públicas	0	0	50	0	0	50
Vegetación	0	0	0	50	0	50
Zonas duras	4	2	0	0	47	53
Total objetos campo	140	50	50	50	50	340

Fuente: elaboración propia.

El índice de exactitud global calculado para la clasificación fue de 89,4% ($116 + 41 + 50 + 50 + 47 / 340$) y las exactitudes de productor y usuario con sus respectivos porcentajes de omisión y comisión para cada clase se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la evaluación de exactitud de la clasificación basada en objetos

Clase	Exactitud productor	Exactitud usuario	Error omisión	Error comisión
Conjunto residencial	82,85%	92,80%	17,14%	7,20%
Construcciones	82%	66,13%	18%	33,87%
Vías públicas	100%	100%	0,0000	0,0000
Vegetación	100%	100%	0,0000	0,0000
Zonas duras	94%	88,68%	6%	11,32%

Fuente: elaboración propia.



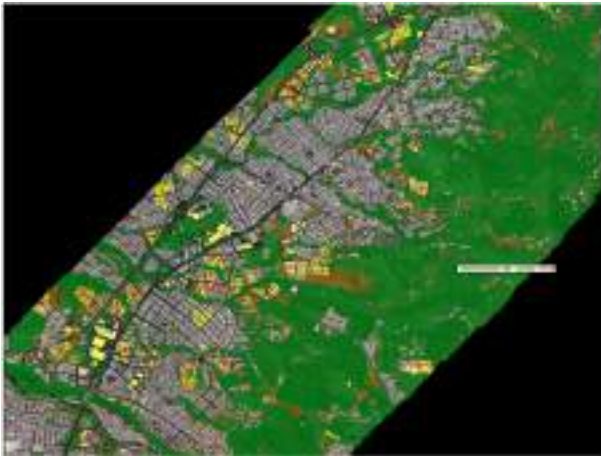


Figura 35. Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio Nº 1 (color amarillo = conjuntos residenciales detectados; cruz roja = ubicación de conjuntos residenciales base datos geográfica), 17.780 x 18.637 pixeles

Fuente: elaboración propia.

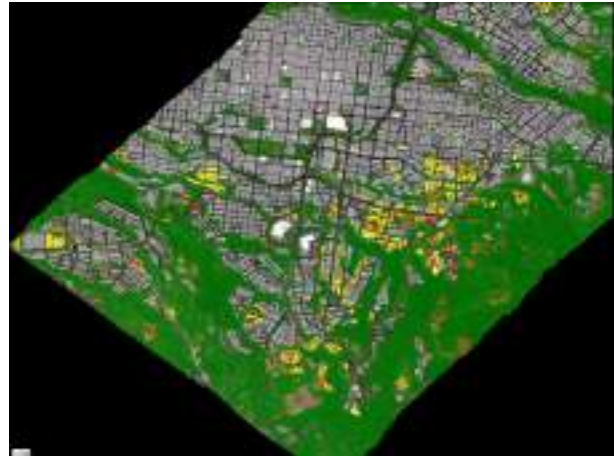


Figura 36. Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio Nº 2 (color amarillo = conjuntos residenciales detectados; cruz roja = ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica), 14.876 x 13.013 pixeles

Fuente: Elaboración propia

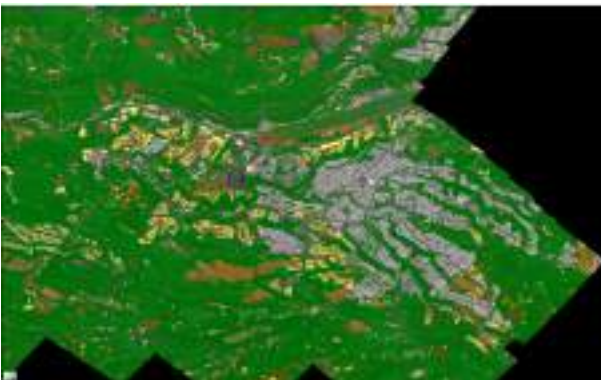


Figura 37. Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio Nº 3 (color amarillo = conjuntos residenciales detectados; cruz roja = ubicación conjuntos residenciales base datos geográfica), 23.957 x 19.465 pixeles

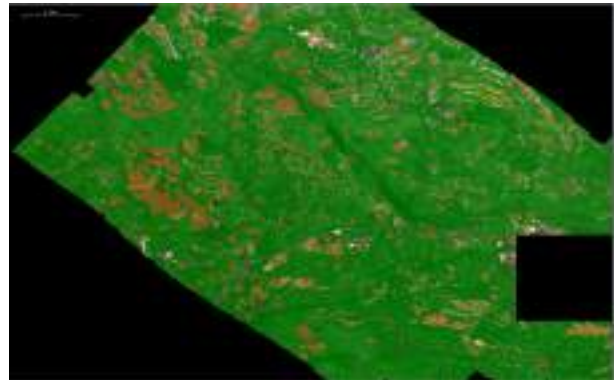


Figura 38. Resultados de clasificación basada en objetos para el área de estudio Nº 3, parte rural, 36.577 x 37.219 pixeles

Finalmente, la información de la altura de los objetos obtenida a partir de modelos digitales de elevación es el criterio que permite clasificar más exactamente los conjuntos residenciales y cualquier clase de construcción en imágenes de muy alta resolución. Esto dada la altísima confusión espectral que se presenta en la clasificación de ciertas parejas de objetos como, por ejemplo, una vía asfaltada y una construcción con tejado gris. Consecuentemente con la importancia de esta información para el proceso de actualización catastral, es recomendable que la aeronave del Instituto Geográfico Agustín Codazzi realice la toma de las imágenes del sensor Vexcel UltraCam D con un solapamiento entre pares estereoscópicos de mínimo el 60% y preferiblemente de hasta un 80% para alcanzar un alto nivel de detalle en los modelos de elevación generados a partir del procesamiento de las mismas.





La calibración radiométrica de las imágenes Vexcel UltraCam D con firmas espectrales de la misma área de estudio contribuyeron a obtener una mejor separabilidad entre clases a partir del cálculo y la evaluación de los parámetros de condiciones espectrales identificados en la sección 2.2.4. Aritméticamente, esto se puede comprender a partir del hecho de que los píxeles pasan de tomar valores entre 0 y 255 a tomar valores entre 0 y 1 o máximo 1,6, como en el caso de esta investigación, así que al ser más bajos los valores que puede tomar un píxel o un segmento de píxeles para una determinada medida espectral, será también mucho menor su desviación estándar, por lo que la posibilidad de tener una distribución de datos uniforme es más alta y con ello aumenta la posibilidad de identificar un patrón de reconocimiento de objetos con base en dicha medida espectral.

Para la recolección de firmas espectrales en campo con el equipo Red Tide USB650 es recomendable calibrarlo para cada toma si existe una alta intensidad solar, dado que el equipo es muy susceptible a sobresaturarse por su condición de trabajo bajo único haz. De acuerdo con los datos observados y la experiencia adquirida durante la investigación, la corrección radiométrica de las imágenes Vexcel UltraCam D para zonas urbanas, además de requerir dos firmas espectrales representativas de zonas oscuras y claras, debe incluir firmas espectrales de objetos antrópicos compuestos por diferentes materiales como asfalto, arcilla, ladrillo, metales o cualquier otro material que se pretenda identificar durante el proceso de clasificación de la imagen para que el cálculo y la evaluación de los índices espectrales permita obtener una marcada separabilidad entre las diferentes clases, dada la alta heterogeneidad de las escenas urbanas. Para el caso rural, es imprescindible obtener una firma espectral de la especie de vegetación predominante en la zona a fin de aislar las áreas donde esté presente y aumentar la precisión en la detección de un objetivo en específico, idealmente, contando con su respectiva firma espectral.

La clasificación de piscinas a partir de funciones de membresía usando los índices de áreas construidas BAI (3) y el ratio de agua WRI (12) fue fundamental para la detección de conjuntos residenciales, sobre todo aquellos que no contaban con manzanas catastrales de forma rectangular y tejados de tonalidad rosada, rojiza, café y blanca, como es el caso de aquellos compuestos por vías privadas y solo torres de apartamentos. Los parámetros de condiciones espectrales definidos en el apartado 2.2.4 fueron determinantes en la clasificación de todos los objetos.

El cálculo y la evaluación de medidas de textura sobre imágenes de muy alta resolución demandan considerables recursos de computador a nivel de procesador y memoria, y no se logró identificar una medida de textura que ayudara a diferenciar claramente alguna clase de construcción. A criterio del investigador, esto tiene su razón de ser por la alta variación de texturas presentes en espacios muy pequeños de terreno de una imagen de muy alta resolución, hecho que dificulta enormemente la elaboración de una regla de análisis.

La herramienta GXL de PCI Geomatics para geoprocesamiento de altos volúmenes de datos con la que cuenta el Instituto Geográfico Agustín Codazzi para la corrección geométrica y los modelos de elevación a partir de imágenes Vexcel UltraCam D permite que las oficinas territoriales de la entidad cuenten con estos productos de forma más oportuna para la realización de procesos de precenso, actualización y conservación catastral. Solo faltaría reglamentar, bajo procedimiento interno, los flujos de proceso y los criterios que garanticen la calidad y la oportunidad de la información.





Bibliografía

- PCI Geomatics Enterprises (5 de abril de 2016). *PCI Geomatics Portal*. Obtenido de <http://www.pcigeomatics.com/>.
- Ariza, A. (Julio de 2015). Parte 1. Conceptos y fundamentos en espectroradiometría. En: *Manual de ejercicios prácticos de teledetección*. Santafé de Bogotá: IGAC.
- Benarchid, O., Raissouni, N., El Adib, S., Abbous, A., Azyat, A., Ben Achhab, N., . . . Chahboun, A. (2013). Building Extraction using Object-Based Classification and Shadow Information in Very High Resolution Multispectral Images, a Case Study: Tetuan, Morocco. *Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision*, 4(1), 8.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. & Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58(3-4), 239-258. doi:10.1016/j.isprsjprs.2003.10.002.
- Departamento de estudios económicos y urbanos Camacol Risaralda (2016). *Estudio de acabados en conjuntos residenciales 2003-2016*. Pereira: Camacol.
- Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (1973). Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-3(6), 610-621. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2010). *Manual de procedimientos formación y actualización catastral P50100-02/10*. Bogotá: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2014). *Instructivo aerotriangulación digital I30300-08/14.V2*. Bogotá: IGAC.
- Navulur, K. (2007). *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Trimble Germany (2014). *Trimble Ecognition Developer Reference Book*. Munich, Germany: Trimble Germany GmbH.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0.
- Vexcel Imaging Company (12 de julio de 2013). *Calibration Report UltraCam D, Serial Number UCD-SU-1-0051*. Bogotá: Vexcel Imaging.
- Vijjapu, P. (1 de marzo de 2013). *Classification and building detection using fuzzy sub-object densities and shadow influence* (tesis de maestría). Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente, Enschede, Netherlands. Recuperado de https://www.itc.nl/library/papers_2013/msc/gfm/vijjapu.pdf.





Bibliografía de referencia

- Arvor, D., Saint-Geours, N., Dupuy, S., Andrés, S., & Durieux, L. (2013). Identifying optimal classification rules for geographic object-based image analysis. *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoramento Remoto* (p. 9). Iguazu, Brasil: HAL archives-ouvertes.fr.
- Blaschke, S., Lang, S. & Hay, G. (2008). *Object- Based Image Analysis Spatial Concept for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Berlín: Springer.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Rialp.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Departamento de estudios económicos y urbanos Caracol (2015). *Comportamiento actividad edificadora en Pereira y Dosquebradas a octubre 2015*. Pereira: Camacol.
- François, L. (2005). *Feature space optimization prior to fuzzy image classification*. Val-Bélair, Qc.: Defence R&D Canada.
- Guyon, I., Weston, J., Barnhill, S., & Vapnik, V. (2002). Gene Selection for Cancer Classification using Support Vector. En: *Machine Learning* (p. 444). Berlín: Springer.
- Harris Geospatial Solutions (20 de sept. de 2016). *Harris Geospatial Product Documentation Center*. Obtenido de <http://www.harrisgeospatial.com/docs/tutorials.html>.
- Heinrich Kux, H. J. & Araújo, E. H. (2010). Object-based Image Analysis using QuickBird satellite images and GIS data, case study Belo Horizonte (Brazil). En: T. Blaschke, S. Lang, & G. J. Hay, *Object-Based Image Analysis* (p. 803). Berlín: Springer-Verlag.
- Heinrich Kux, H. J., Novack, T. & Garcia Fonseca, L. M. (2009). Mapeamento de favelas usando classificação orientada a objeto – estudo de caso em Paraisópolis, São Paulo (SP). *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoramento Remoto, Natal, Brasil, abril 2009* (p. 7). Sao Jose dos Campos - SP, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- IDB Project. (Marzo de 2016). *Index Database. A database for remote sensing indices*. Recuperado de: <http://www.indexdatabase.de/>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (12 de mayo de 2016). *Sistema Nacional Catastral*. Recuperado de <http://snc.igac.gov.co/snc/login.jsf>.
- Kovacs, A. M., & Sziranyi, T. (2013). Multidirectional building detection in aerial images without shape templates. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 6.
- Ley 1450 de 2011 (16 de junio). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014. *Diario Oficial* N° 48.102.





- Lira, J. (2010). *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mhangara, P., Odindi, J., Kleyn, L., & Remas, H. (2013). *Road extraction using object oriented classification*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/267856733_Road_extraction_using_object_oriented_classification.
- Nussbaum, S., Niemeyer, I., & Canty, M. J. (2006). SEATH - a new tool for automated feature extraction in the context of object-based image analysis. *1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA)*. Salzburg: Research Center Juelich Programme Group Systems Analysis and Technology Development.
- Ouma, Y. O., Tateishi, R., & Sri-Sumantyo, J. T. (2010). Urban features recognition and extraction from very-high resolution multi-spectral satellite imagery: a micro–macro texture determination and integration framework. *IET Digital Library*, 10.
- Pérez Gutiérrez, C., & Muñoz Nieto, Á. L. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Redweik, P. (2015). Fotogrametría aérea. *Researchgate*, 38.
- Shackelford, A. K., & Davis, C. H. (2003). A hierarchical fuzzy classification approach for high-resolution multispectral data over urban areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(9), 1920-1932.
- Smith, R. (2004). *Percepción remota del ambiente*. Raymond Nebraska: MicrolImages Inc.
- Vexcel (2004). *Brochure UltraCam D*. Boulder, Colorado: Aerial-Survey-Base.
- Wuest, B. & Zhang, Y. (2009). Region based segmentation of QuickBird imagery through fuzzy integration. XXI Congress, WG VII/4 (p. 6). Fredericton, Canada: Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick.





Proceso de creación de la Agencia Espacial Mexicana: retos y oportunidades

Creation process of the Mexican Space Agency: Challenges and opportunities

Jesús Roberto Romero Ruiz¹

Resumen

En este artículo se examina la sucesión de eventos y factores que incidieron en la materialización de la Agencia Espacial Mexicana (AEM), que comprenden:

- 1) La sucesión de aprendizajes que pueden incidir en el desarrollo y el establecimiento de una serie de hitos que ayuden a perfilar una agencia espacial en un país latinoamericano.
- 2) La experiencia adquirida en México, para compartirla con la comunidad colombiana y que pueda llevar a cabo el desarrollo espacial del país. Para esto, se sugiere un marco normativo que se vea beneficiado con la tecnología espacial y que, a su vez, impulse el firme establecimiento de una institución con vocación espacial. Este es un paso importante, ya que la difusión y el reconocimiento de las aplicaciones sociales de la tecnología espacial pueden ser aliados importantes en la gestión para el establecimiento de una institución con estos fines.
- 3) La importancia de la cooperación internacional como una necesaria estrategia para enfrentar, de manera conjunta, los desafíos que conlleva el establecimiento de una agencia espacial, por lo que se hace mención de la trayectoria mexicana en temas espaciales al respecto.

Palabras clave: marco normativo nacional e internacional, cooperación internacional, desarrollo tecnológico espacial.

¹ Abogado, gerente de Relaciones de Seguridad Espacial de la Agencia Espacial Mexicana. Correo: romero.jesus@aem.gob.mx.





Abstract

This article examines the series of events and factors that impinged in the creation of the Mexican Space Agency (AEM). These events and factors are the following:

- 1) A succession of learning processes that can affect the development and establishment of a series of mile stones that aid in the shaping of a space agency in a Latin-American country.*
- 2) Experience gained in Mexico to be shared with the Colombian community and that can carry out the country's space development. For this a normative framework that benefits by space technology and that, in turn, drives a strong establishment of an institution with space vocation, is suggested. This is a major step, since the dissemination and recognition of the social applications of space science can turn into an important ally in the management for the setting up of an institution for these purposes.*
- 3) The importance of international cooperation as a necessary strategy for jointly overcoming the challenges involved in the formation of a space agency. Therefore, the Mexican trajectory in related space subjects is mentioned.*

Keywords: *national and international regulatory framework, international cooperation, space technologic development.*





Introducción

La incursión de México en las tecnologías espaciales se remonta a 1957, cuando fue lanzado el primer cohete diseñado y construido en nuestro país. Ese año se ubica en los inicios de la carrera espacial en el mundo y corresponde a los momentos en que la Unión Soviética lanza el primer satélite artificial, el Sputnik 1, y Estados Unidos y otros países deciden desarrollar sus propios proyectos espaciales.

En los inicios de la década de los sesenta, México elaboró convenios con Estados Unidos para construir, operar y desarrollar estaciones rastreadoras de satélites. La primera se instala en Guaymas, Sonora, y posteriormente se pone otra en el centro del país, en Tulancingo, Hidalgo. En esa misma década, también se crea la Comisión Nacional del Espacio Exterior (CONEE), que debe ser considerada como la primera Agencia Espacial Mexicana que inició actividades justo en los momentos en que el resto del mundo apenas empezaba a desarrollar la tecnología y la exploración espacial. Desde aquel momento, la parte de telecomunicaciones fue desarrollada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Posteriormente, a mediados de los setenta, el gobierno mexicano decide suprimir la Comisión Nacional del Espacio Exterior y México se queda sin su proyecto nacional de agencia espacial. Al desaparecer la CONEE, las Telecomunicaciones de México (TELECOMM) continúan con el desarrollo de las telecomunicaciones, ya que es la cabeza del sector desde donde se manejan y desarrollan los satélites de telecomunicaciones que ha tenido México: los Solidaridad, los Morelos y ahora los MexSat.

Así que con la creación de la AEM se está retomando un proyecto de soberanía importantísimo para desarrollar y controlar sus actividades espaciales, que inciden en prácticamente todas las áreas de la vida nacional: en la educación, las comunicaciones, la seguridad, la investigación y obviamente en el desarrollo industrial y empresarial.

Instituciones, legislación y líneas de política de la Agencia Espacial Mexicana

Instituciones que participan de la Agencia Espacial Mexicana

La Junta de Gobierno de la Agencia Espacial Mexicana tiene representación de las secretarías de Estado y también de instituciones importantes para el desarrollo educativo y académico del país. Además de las secretarías de Estado relevantes, las instituciones que participan son: la Universidad Nacional Autónoma de México (Unam), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), la Academia Mexicana de Ciencias, la Academia de Ingeniería, la Academia de Medicina, la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (Anuiés) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (Ley que crea la Agencia Espacial Mexicana, 2010).

Marco legal

La Ley que crea la Agencia Espacial Mexicana se promulgó a finales de julio del 2010.





Después de su promulgación se dieron varios pasos importantes, que además estaban considerados en la misma ley. El primer paso fue convocar a la Junta de Gobierno, la cual, después de reunirse, decidió hacer foros de consulta pública y mesas permanentes de trabajo. Se diseñaron y realizaron cuatro foros públicos: el primero fue en octubre, en Querétaro, sobre el desarrollo industrial que debe estar asociado a la Agencia Espacial; el segundo fue en noviembre, en Hidalgo, y se enfocó en las relaciones internacionales y el marco legal que debe tener la Agencia; el tercer foro se hizo en diciembre, en Ensenada, Baja California, y estuvo enfocado en los proyectos de desarrollo científico y tecnológico que debe impulsar la Agencia (Ley AEM, 2010).

Líneas de política para la Agencia Espacial

Las líneas generales de la política que debe tener México en materia espacial, en primer lugar, deben establecer la soberanía del país (Líneas Generales de la Política Espacial de México, 2011).

Tabla 1. Líneas generales de Política Espacial de México

<i>Líneas generales de la Política Espacial de México</i>	
<i>1. Rectoría del Estado en la materia</i>	<i>7. Desarrollo del sector productivo</i>
<i>2. Autonomía del país en la materia</i>	<i>8. Formación de recursos humanos</i>
<i>3. Protección a la soberanía y la seguridad nacional</i>	<i>9. Coordinación, reglamentación y certificación</i>
<i>4. Protección de la población</i>	<i>10. Cooperación internacional</i>
<i>5. Sustentabilidad ambiental</i>	<i>11. Divulgación de actividades aeroespaciales</i>
<i>6. Investigación, desarrollo científico, tecnológico e innovación</i>	<i>12. Financiamiento</i>
	<i>13. Organización y gestión</i>

Fuente: elaboración propia.

La Agencia Espacial es un proyecto nacional que atiende problemas y necesidades del país, y se enfoca en desarrollar soluciones a largo plazo en áreas estratégicas con la rectoría del Estado, así que es un proyecto de soberanía para nuestra nación. El Estado mexicano debe establecer áreas prioritarias de desarrollo porque es una agencia estratégica para el futuro de nuestro país.

La siguiente línea general importante es la autonomía. México debe de ser un simple consumidor de productos asociados a sistemas espaciales y se convierta en un agente activo de cambio en la materia. Esperamos que, en un futuro no muy lejano, México sea lo más autónomo posible en este rubro y que se diseñen y construyan soluciones para sistemas espaciales dentro de nuestro país.

Otra línea que considero muy importante es fortalecer el binomio academia-empresa, el desarrollo industrial y su tecnificación. México debe participar como un agente





competitivo en innovación y debe encontrar los nichos industriales para desarrollar parte de su economía con soluciones propias en el sector aeroespacial. Una de las líneas primordiales dirigidas a las universidades y a las industrias es la realización de proyectos propios de desarrollo científico, de desarrollo tecnológico y obviamente de desarrollo industrial. Para esto es importante que las instituciones de educación superior con programas espaciales puedan tener una sinergia, un vínculo importante con las empresas del sector aeroespacial. Por otro lado, se debe estimular la creación de más cuadros científicos en todas las áreas de ciencias básicas que están relacionadas con el sector, así como cuadros tecnológicos en todas las ramas de la ingeniería vinculadas con la tecnología aeroespacial.

Retos y oportunidades de la Agencia Espacial Mexicana a nivel nacional

México, en este momento, ya tiene una buena inversión en la industria aeronáutica (Plan de Órbita 2.0: Mapa de ruta de la industria espacial mexicana, 2017), pero aún no tiene una industria espacial. Uno de los primeros retos para la parte de desarrollo industrial va a ser el generar nuevas capacidades e infraestructura para el sector espacial. Un punto de partida es la experiencia existente en el sector aeronáutico, que cuenta con una capacidad instalada e inversión distribuida por varios Estados del país. No va a ser una tarea ni fácil ni simple, pero es un reto muy importante para incrementar el nivel de desarrollo industrial, económico y empresarial de la nación

En este momento, hay núcleos de desarrollo aeronáutico en varios Estados y habrá que generar los núcleos de desarrollo correspondientes en universidades y extenderlos a otros lugares de la república. Los retos son muy interesantes, pues van a permitir crear desarrollos de muy alta tecnología en varios lugares del país. Me gusta pensar que se puede vincular de una manera muy clara, precisa y bien pensada la relación entre universidades e industrias alrededor de este proyecto.

Asimismo, a través del Congreso mexicano se legisló en materia de políticas públicas sobre fenómenos astronómicos para prevenir y atender situaciones que afectarían de manera importante los sistemas eléctricos y de telecomunicaciones en nuestro país. Por esto se hace hincapié en la necesidad de reflexionar acerca de la importancia de contar con un plan de emergencia ante dichas situaciones al momento de implementar programas por parte de las autoridades competentes, como la Secretaría de Gobernación, a través del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), del Sistema Nacional de Protección Civil (Sinaproc) y de la Agencia Espacial Mexicana (AEM), para alertar y prevenir a la población mexicana sobre estos fenómenos, tomando en cuenta las afectaciones inmediatas luego de un evento muy violento (Ley General de Protección Civil, 2014).

Beneficios que ofrece la Agencia Espacial Mexicana en los sectores tecnológico, económico, social y en materia de educación

Los beneficios de la tecnología espacial y los sistemas espaciales los disfrutamos de manera cotidiana y creo que ya no nos damos cuenta de ello. Hay una gran cantidad de productos que son derivados del desarrollo de los sistemas espaciales. Por ejemplo, los satélites de telecomunicación tienen acceso a los lugares menos favorecidos geográficamente y pueden llevar servicios de telemedicina y teleducación a comunidades geográficamente aisladas. Hay una amplia variedad de beneficios sociales relacionados





con el trabajo que hace la Agencia Espacial Mexicana. Es importante destacar que se incluyen las alertas tempranas ante desastres, como la detección temprana de incendios, entre otros. México ha sufrido incendios devastadores, que destacan la importancia de contar con un sistema de detección de incendios desde el espacio.

Áreas del conocimiento que se ven beneficiadas por el trabajo de los investigadores de la Agencia Espacial

En el caso de la ciencia, los beneficios también son muchos. Por un lado, formular y conducir las acciones que necesita México para el desarrollo de capacidades nacionales en observación de la Tierra, tecnología de navegación global por satélite, transporte espacial, comunicaciones satelitales, aplicaciones para mejorar la eficiencia y seguridad de los medios logísticos, monitoreo y vigilancia en las carreteras y, en general, de los recursos estratégicos del país. Las acciones presentadas en este programa serán ejecutadas por la AEM en estrecha coordinación con el sector central y paraestatal del Gobierno federal, los Gobiernos estatales, las instituciones educativas, los centros de Investigación, la industria y en general la sociedad, así como todos los que participen en el desarrollo del sector espacial. Esto quiere decir que se busca ser incluyentes y contribuir, a través de las potencialidades que ofrecen las aplicaciones espaciales, al desarrollo de soluciones para el país y sus habitantes.

Retos y oportunidades de la Agencia Espacial Mexicana ante la comunidad espacial internacional

La inserción de México en la comunidad espacial internacional requiere una alineación con los temas prioritarios de la agenda espacial mundial, como la promoción y adhesión a los distintos instrumentos jurídicos que conforman el derecho espacial, el desarrollo de aplicaciones espaciales a favor de la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria y energética, así como los esfuerzos dirigidos a la prevención y la gestión de desastres.

En este aspecto, México ha mostrado una creciente participación, a través de la AEM, en foros y seminarios internacionales organizados por el Sistema de las Naciones Unidas, entre los que se destacan el Comité para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre (Copuos), el Instituto de las Naciones Unidas para la Investigación sobre el Desarme (Unidir), la Organización Internacional de Satélites Móviles (Imso) y la Organización Marítima Internacional (IMO). Cabe mencionar que las relaciones con entidades internacionales no se limitan al Sistema de Naciones Unidas: la AEM tiene presencia en otros organismos relevantes afines al tema espacial, tales como la Conferencia Espacial de las Américas (CEA), la Conferencia Interamericana de Telecomunicaciones (Citel) y la Federación Internacional de Astronáutica (IAF, por su sigla en inglés) (Programa Nacional de Actividades Espaciales [PNAE], 2015).

Perspectiva de México en el espacio para 2030

Para el 2030 (PNAE, 2015), México contará con una infraestructura espacial soberana y sustentable, construida con las capacidades y las competencias tecnológicas que soportan la tecnología de los aspectos críticos de su estructura y funcionamiento, asegurando con ello la soberanía, la independencia tecnológica y los mecanismos y





sistemas necesarios para atender las necesidades sociales de seguridad, inclusión, educación, salud y conectividad, propiciando así la gobernabilidad, la competitividad y el reconocimiento de la cultura, los valores y el liderazgo de México en el contexto internacional. Así mismo, México contará con:

- Lanzadores manufacturados en el país, capaces de operar desde plataformas ligeras y amigables con el medio ambiente, ubicados en puntos estratégicos del territorio nacional, competitivos a nivel global.
- Plataformas satelitales modulares que permitan su utilización en diferentes misiones de observación, localización y comunicación.
- Instrumentación para las diferentes cargas útiles y misiones científicas y tecnológicas relevantes para el país.
- Competencias de desarrollo con aplicaciones, tanto para el diseño de las misiones de los sistemas de control robótico como para los sistemas de intercomunicación e interacción en red de los diferentes dispositivos del segmento espacial, el terrestre y de los instrumentos de los lanzadores y los vehículos espaciales.
- Estaciones terrenas de telemetría y telecontrol diseñadas y construidas con tecnologías nacionales, estaciones maestras receptoras, así como antenas y estaciones retransmisoras y dispositivos terminales con sus aplicaciones para usuarios.
- Observatorios espaciales de vanguardia coordinados con los grandes proyectos internacionales de la humanidad.
- Participación en misiones internacionales de exploración espacial.

Conclusiones

Para concluir, sería importante recalcar que México ha vivido rezagado de todos los desarrollos que se han dado en el último siglo y el tema espacial es simplemente uno de ellos. México requiere crear, por ejemplo, infraestructura en todas las áreas, incluyendo infraestructura física para las comunicaciones. También debemos desarrollar tecnologías propias, que estimulen el crecimiento de industrias competitivas, que generen riqueza y empleos, así como satisfactores para la población. Tenemos que atraer más jóvenes hacia el conocimiento y elevar la escolaridad de la población. Estamos ante la oportunidad de retomar el desarrollo espacial, lo cual puede ayudar a forjar una ruta brillante para nuestro país. Este es un proyecto nacional importante, en el que vamos a poder generar recursos humanos de muy alta calidad en diversas áreas, en ingeniería y en ciencia, y en muchas direcciones.





Bibliografía

Ley que crea la Agencia Espacial Mexicana, 2010.

Líneas Generales de la Política Espacial de México, 2011.

Ley General de Protección Civil, 2014.

Programa Nacional de Actividades Espaciales de la Agencia Espacial Mexicana, 2015.

Plan de Órbita 2.0: Mapa de ruta de la industria espacial mexicana, 2017.





Evaluación de la Viabilidad del uso de Aeronaves No Tripuladas para la Elaboración de Cartografía Catastral Multipropósito

Assessment of the Viability of the Use of Unmanned Aircraft for the Elaboration of Multipurpose Cadastral Mapping

Alexandar Vergara¹, David Arenas²

Las tecnologías de la información geográfica como apoyo a la seguridad pública y Nacional

Resumen

Debido a los costos de manutención y operación del avión del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), para la producción de cartografía básica y catastral multipropósito, y los tiempos que esta actividad demanda, surge la necesidad de evaluar la viabilidad del uso de aeronaves no tripuladas para regiones pequeñas. Es así que en el año 2016, en labores conjuntas entre la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, SELPER (Capítulo Colombia) y el IGAC, se llevó a cabo un proyecto piloto en el municipio de Cabuyaro, departamento del Meta. La metodología del proyecto incluyó actividades de diseño de vuelos, toma de imágenes con ART, toma de puntos de fotocontrol, aerotriangulación, procesamiento de datos, generación de productos cartográficos (DSM, ortofotomosaico), evaluación de exactitud posicional, de acuerdo con especificaciones técnicas preestablecidas y enfocada en una zona de estudio con un área urbana menor a 300 hectáreas. De esta experiencia se concluye que un ortofotomosaico generado bajo condiciones similares a las de esta investigación (extensión, orografía, aspectos ambientales y climáticos, entre otras) es un producto apto para la actualización de cartografía, con una precisión cercana a la obtenida por medio de aeronaves tripuladas. Esta investigación es un primer paso del IGAC hacia la evaluación del uso de estas tecnologías en la elaboración de cartografía oficial, como una alternativa a las metodologías tradicionales de producción cartográfica.

Palabras clave: Aeronaves Remotamente Tripuladas (ART), catastro multipropósito, cartografía, fotogrametría, ortofotomosaico, MDT, fotocontrol.

1. Especialista en Geomática. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica-CIAF (Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC). luisalexander.vergar@igac.gov.co

2. Especialista en sistemas de Información Geográfica SIG. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica-CIAF (Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC). david.arenas@igac.gov.co





Abstract

Due to the costs of maintenance and operation of the Geographical Institute Agustín Codazzi (IGAC) aircraft, in the production of multipurpose cadastral and base cartography maps, and how time-consuming this activity is, there is a need to evaluate the viability of the use of unmanned aerial vehicle (UAV) for small regions. For this reason, in 2016, in a joint work between the Latin American Society of Remote Sensing Specialists and Space Information Systems (Capítulo Colombia), and the IGAC, a pilot project was carried out in the municipality of Cabuyaro, department of Meta. The research methodology included flight design, image capture with the UAV, photocontrol points, aerotriangulation, data processing, generation of cartographic products (Digital Surface Model, orthophotomosaic) and positional accuracy assessment, according to pre-established technical specifications, focused on a study area with an urban area of less than 300 hectares. From this experience, we found that an orthophotomosaic generated under conditions similar to those of this research (extension, orography, environmental and climatic aspects, among others), is a suitable product for updating cartography with a precision close to those obtained by means of a manned aircraft. This research is a first step for the IGAC regarding the evaluation of these new technologies in the elaboration and production of official cartography, as an alternative to the traditional methodologies of cartographic production

Keywords: *Remotely Piloted Aircraft (RPA), multipurpose cadaster, cartography, photogrammetry, orthophotomosaic, Digital Terrain Model (DTM), photocontrol.*





Introducción

La evolución de nuevas tecnologías, como lo son los vehículos aéreos no tripulados (UAVs) o aeronaves remotamente tripuladas (ART), ha permitido apoyar un sinnúmero de usos: desde el campo militar, origen de esta tecnología, hasta aplicaciones geomáticas como el mapeo, la agricultura de precisión, el monitoreo de cultivos, el transporte de encomiendas livianas, la vigilancia, el cine, la televisión, el ocio y la diversión, entre otras.

En el campo del mapeo, gracias a su versatilidad, rapidez y bajo costo (comparado con la aerofotografía convencional), las ART permiten, a través de sensoramiento remoto, mapear pequeñas porciones de la superficie terrestre de forma ágil, oportuna y a una mayor resolución espacial, que la que se obtendría usando métodos convencionales. Con esto se permite, entre otros usos, la elaboración de cartografía básica, catastral, temática de coberturas y usos de la tierra, y la generación de modelos de construcciones en tercera dimensión.

Actualmente el IGAC presenta limitaciones técnicas frente al suministro de imágenes como insumo para la elaboración de cartografía básica predial de pequeños municipios y corregimientos, debido a que la aeronave con la que cuenta es empleada principalmente para la toma de insumos de áreas a nivel departamental y local de ciudades principales. Con esto se crea una desventaja económica y operacional frente al mapeo de pequeñas poblaciones o áreas pequeñas a nivel nacional, debido a los elevados costos que esto acarrea, sumado a las condiciones atmosféricas que limitan la operación a temporalidades fijas dentro del año.

Por otra parte, las ART son menos costosas en comparación con las aeronaves convencionales. Su costo de operación y mantenimiento son económicos, y permiten rapidez en la planeación y ejecución de vuelos. Además, los techos de operación son notoriamente más bajos, lo que redundaría en menores porcentajes de nubosidad, favoreciendo el resultado en la toma y obtención de imágenes. En tal sentido, la elaboración de cartografía a gran escala para aplicaciones de mapeo de áreas pequeñas de la superficie terrestre de forma económica, ágil y oportuna se ve favorecida a partir del empleo de las ART.

Dadas las ventajas de esta nueva tecnología frente a la técnica convencional, el presente estudio busca evaluar la viabilidad del uso de ART para la elaboración de cartografía catastral multipropósito, con el fin de facilitar los insumos para corregimientos pequeños del territorio nacional, a un menor costo y con mayor rapidez que con el empleo de aeronaves tripuladas. En este sentido, se planteó un proyecto piloto en el municipio de Cabuyaro (Meta), dadas sus necesidades en cuanto a la disposición de productos cartográficos actualizados, que sirvieran de base para propósitos catastrales. Acorde a ello, la propuesta de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, SELPER – Capítulo Colombia, planteó la extracción de un modelo digital de superficie (“DSM” Digital Surface Model) y la posterior elaboración de un ortofotomosaico con cobertura de la totalidad del casco urbano del municipio, empleando un ART en calidad de préstamo, de uno de sus asociados.





Materiales y métodos

Para la ejecución de la prueba piloto fue necesaria la adquisición de dos tipos de datos básicos, los cuales fueron obtenidos mediante trabajo de campo en la zona de estudio.

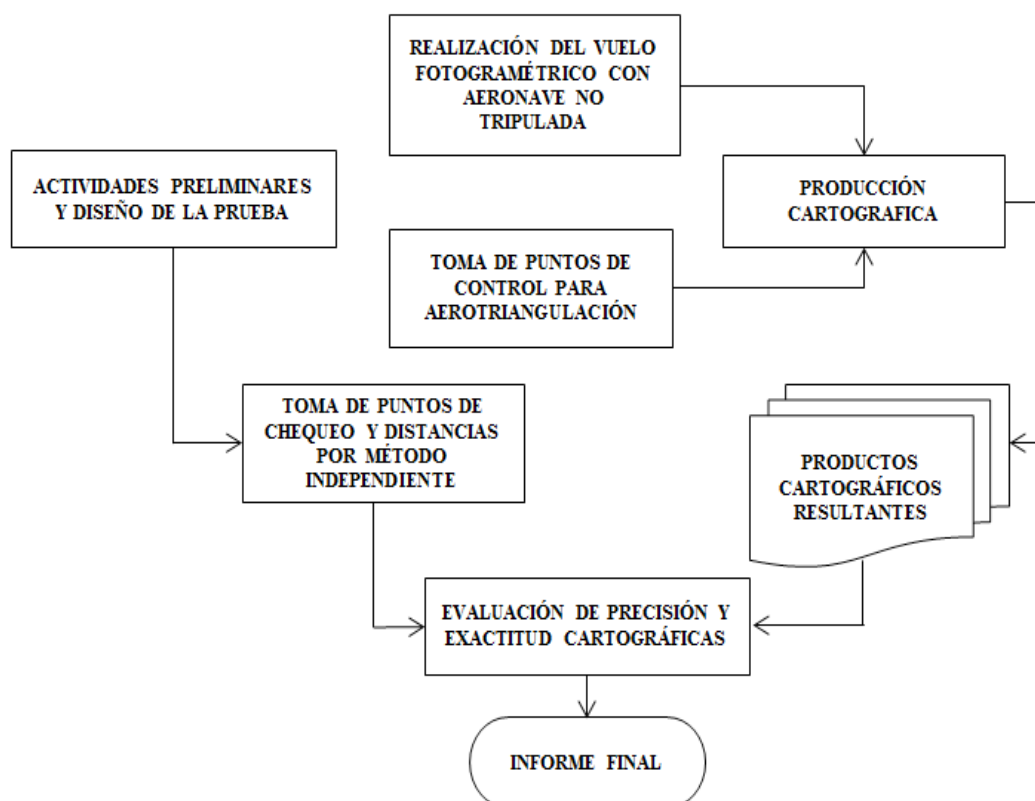
Tabla 1. Parámetros de Vuelo y Fotocontrol Cabuyaro

Tipo de dato	Fuente/suministró	Observaciones
Imagen ART	Selper-Datum Ingenieria	Archivo raster RGB / pixel (m) 0.025
Puntos de Control terrestre	GIT Control Terrestre y Clasificación de Campo -IGAC	Archivos con la determinación de coordenadas cartesianas (horizontal - vertical) de origen local Meta - Cabuyaro – 2012, Datum MAGNA-SIRGAS1 para el ajuste de imágenes aerofotográficas
Punto control de precisión	GIT Control Terrestre y Clasificación de Campo -IGAC	
Puntos de apoyo	GIT Control Terrestre y Clasificación de Campo -IGAC	

Fuente: elaboración de los autores.

El desarrollo de la prueba piloto para la evaluación de la viabilidad del uso de aeronaves no tripuladas comprendió las etapas que se describen en la figura 1, etapas hacen parte, en su mayoría, del proceso fotogramétrico convencional y corresponde a la propuesta de la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER); y al Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF.

Si bien el proceso seguido es en gran medida similar al efectuado con las aeronaves tripuladas, se describen a continuación cada una de las actividades citadas en la figura 1.





Etapas de Actividades Preliminares y Diseño de la Prueba

Es una de las fases más importantes del proceso cartográfico: de esta fase dependen las demás y su correcta planificación se verá reflejada en las actividades posteriores. De acuerdo a la zona de estudio, se diseñan las líneas de vuelo que la cubren; con arreglo al recubrimiento requerido entre fotografías, se determina la velocidad y altura de vuelo, periodicidad de obturación de la cámara, entre otros aspectos. En esta fase se debe planear de conformidad con las condiciones atmosféricas y ambientales previstas, puesto que condiciones desfavorables pueden afectar seriamente el vuelo y los resultados esperados. Esto en razón a que generan un impacto en la operatividad del sistema y afectan la precisión esperada. Incluso poniendo en riesgo a la aeronave, por la velocidad de los vientos y la lluvia.

En general este tipo de vuelos debe programarse cuando no haya niebla, polvo, zonas inundadas; y en regiones con estaciones, cuando no esté nevando, o con condiciones ambientales que pongan en peligro la misión. La hora del día también es relevante para la planeación del vuelo: se debe buscar, en lo posible, un horario en donde la altura solar sobre el horizonte sea mayor o igual a 40°. Se debe considerar una zona de despegue y aterrizaje adecuado, con arreglo al modo de despegue de la aeronave, puesto que las condiciones de despegue son diferentes para un multi-rotor que para uno de ala fija.

La altura de vuelo constante es otro aspecto a considerar. Para esto se debe tener en cuenta la ondulación del terreno o las zonas montañosas, puesto que puede alterar el tamaño del pixel. Este factor es considerado en aeronaves tripuladas que vuelan a grandes alturas, otro tanto ocurre con drones, cuyo techo de altura es más limitado.

Etapas de Realización del Vuelo Fotogramétrico con Aeronave no Tripulada

Para esta actividad se contó con un Drone Trimble UX5 de ala fija desarrollado para mapeo, y un sensor Sony alfa5100 RGB con lente de 16 x 50 mm para la captura de los datos imagen.

El diseño inicial de los vuelos (dos, para el casco urbano de Cabuyaro) se llevaría a cabo con un total de 54 líneas de vuelo y 6 puntos de fotocontrol. No obstante —y como se citó previamente—, el crecimiento en el área urbana del municipio (entre 30-40% aproximadamente) y la limitación en cuanto a la altura de operación de la aeronave exigido en la Circular Reglamentaria N° 002, Requisitos Generales de Aeronavegabilidad y Operaciones para RPAS de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil - UAEAC, en su numeral 7.3 Limitaciones de la Operación RPAS en Colombia: “no se permitirá operación RPAS en Colombia para volar a una altura superior a 500 pies (152 metros aproximadamente) Altura Sobre el Terreno (AGL) o sobre el agua”. Esto conllevó a un rediseño del plan de vuelo inicial y, por ende, un mayor número de líneas de vuelo. La tabla 2 describe los principales datos en cuanto a la planificación y la ejecución de los vuelos.





Tabla 2. Parámetros de Vuelo y Fotocontrol Cabuyaro

Parámetros	Programado	Ejecutado
Ground Sample Distance (GDS) Imagen (cm)	5	2,4
Traslapes Lateral y Longitudinal (%)	80	70-80
Altura de Vuelo (m)	300	103
Número de Vuelos	2	3
Número total líneas de vuelo	54	82
Número total de imágenes (3 vuelos)	2000	3631
Número de puntos de control Aerotriangulación	6	22
Número de puntos para control de precisión	No programado	8 + 2 Geodésicos

Fuente: Elaboración de los autores.

Etapas de Toma de Puntos de Control para la Aerotriangulación

Dentro del flujo de actividades desarrolladas en la prueba piloto, se llevaron a cabo, de manera paralela a la realización del vuelo fotogramétrico, las actividades de determinación de los puntos de control necesarios para el proceso de aerotriangulación. La tabla 3 resume las actividades desarrolladas por el GIT de Control Terrestre y Clasificación de Campo.

Tabla 3. Actividades de campo y oficina GIT Control Terrestre y Clasificación de Campo

Antenas GPS	Topcon Hiper SR-1064-15088 (doble frecuencia)
No. Estaciones permanentes	2
No. Puntos Geodésicos materializados	1
Tiempo rastreo /punto geodésico (min/día)	120
No. Vértices bases auxiliares	2
Tiempo rastreo medio / Vértices bases aux. (min/día)	564
No. Puntos de fotocontrol	22
Tiempo rastreo medio /punto de control (min/ día)	70
No. Puntos de control de precisión	8
Tiempo rastreo /punto control precisión (min)	60

Fuente: Elaboración de los autores a partir del informes de los GIT Control Terrestre y Clasificación de Campo y GIT Geodesia, IGAC.





Etapa de Producción Cartográfica

La labor de postproceso (corrección diferencial) para misión de vuelo se realizó en el software *Trimble Business Center Photogrametry*, el cual permitió el geo-etiquetado de cada una de las imágenes obtenidas. Posteriormente se empleó el software UAS Master® 7.0, con el que se generaron los mosaicos ortorectificados, mediante un flujo de trabajo fotogramétrico adaptado a las especificaciones de los productos obtenidos mediante esta tecnología.

El sistema de referencia —expresado en el datum³ geodésico geocéntrico MAGNA-SIRGAS, elipsoide de referencia GRS80⁴— de las imágenes corresponde al mismo sistema de referencia sobre el que se calcularon los puntos de foto control para la zona de estudio del municipio de Cabuyaro (Meta). El Sistema de proyección cartográfica está expresado en coordenadas planas cartesianas⁵ de Gauss Krüger, origen local. La tabla 4 resume los datos.

Tabla 4. Datos de origen cartesiano local

Origen:	META - CABUYARO - 2012
Latitud:	04° 17' 12,73187" N
Longitud	72° 47' 29,44442" W
Norte:	965913.731 m
Este:	1142770.466 m
Plano de Proyección:	173.0 m.s.n.m.m.

Fuente: Elaboración de los autores a partir del informes de los GIT Control Terrestre y Clasificación de Campo y GIT Geodesia, IGAC.

Respecto a la configuración del proyecto se requieren los parámetros de la cámara descritos a continuación.

3 “Orientación y ubicación del elipsoide asociado a un sistema coordenado (X, Y, Z), si éste es geocéntrico se tendrá un Datum Geodésico Geocéntrico o Global; si es local se tendrá un Datum Geodésico Local. Estos últimos también se conocen como Datum Horizontales, dado que la determinación de la altura (H) de los puntos es independiente de sus coordenadas horizontales (ϕ, λ). Un datum geodésico geocéntrico permite establecer las coordenadas para un punto con respecto a la misma superficie de referencia, el elipsoide. En estos, la tercera coordenada se conoce como altura geodésica o elipsoidal (h)”. *Manual de Procedimiento “RED DE ESTACIONES CONTINUAS DEL MARCO GEOCENTRICO NACIONAL “MAGNA – ECO””, Grupo Interno de Trabajo Geodesia, Julio de 2016*

4 “Conjunto de convenciones y conceptos teóricos adecuadamente modelados que permiten definir en cualquier momento la orientación, ubicación y escala de tres ejes coordenados (X, Y, Z). Dado que un sistema de referencia es un modelo, éste es realizado, materializado o implementado, mediante puntos reales cuyas coordenadas son determinadas sobre el sistema de referencia dado”. *Manual de Procedimiento “RED DE ESTACIONES CONTINUAS DEL MARCO GEOCENTRICO NACIONAL “MAGNA – ECO””, Grupo Interno de Trabajo Geodesia, Julio de 2016.*

“Si el origen de coordenadas [X=0, Y=0, Z=0] coincide con el centro de la Tierra se denomina sistema de referencia geocéntrico o global, en caso contrario se habla de sistema de referencia local”. *Manual de Procedimiento “CONTROL TERRESTRE”, Grupo Interno de Trabajo Control Terrestre y Clasificación de Campo, octubre de 2011, versión 3. Manual de Procedimiento “PROCESAMIENTO, ALMACENAMIENTO Y PUBLICACIÓN DE INFORMACIÓN GNSS”, Grupo Interno de Trabajo Geodesia, Diciembre de 2014*

5 “TIPOS DE COORDENADAS MANEJADOS EN COLOMBIA”. IGAC, Subdirección de Geografía y Cartografía, División de Geodesia, Ing. Laura Sánchez Rodríguez, mayo de 2004.





Tabla 5. Datos de calibración de cámara

Marca / tipo	Sony alfa5100 16-50mm
Distancia focal (mm)	15.5277
Tamaño del Pixel (micrones)	3.920 x 3.920
Punto principal x / y (mm)	-0.0772 / 0.0389

Fuente: Elaboración de los autores

Debido que los sensores empleados en ART presentan grandes distorsiones, un modelo predefinido de distorsión de una cámara por defecto del mismo tipo es mejor que un modelo de “cero” (sin distorsión). Esto mejora la proyección de la posición del punto de control en tierra para cada una de las imágenes, y permite el inicio de la calibración de la cámara. Al igual que los certificados de calibración de las cámaras convencionales (análoga y digital), para el sensor Sony alfa5100 se dispone de dicho modelo, el cual contiene los valores iniciales de distorsión de la lente a partir de su punto principal, medidos radialmente en mm.

Dentro de las tareas de ajuste automático y ajuste con Ground Control Points GCP, puntos de control, se tiene que para el primero se emplean las coordenadas fotocentro, (de centro cámara / exposición). Al igual que las cámaras fotogramétricas digitales convencionales, se cuenta además de los datos anteriores, con los valores de giros registrados en una Unidad de Medición Inercial IMU, pero en este caso los ángulos de rotación se presentan como ángulos de navegación (cabeceo, balanceo y guiñada), y no como ángulos alrededor del eje fotográfico empleados en fotogrametría (ω , ϕ y κ).

Para el proceso de orientación exterior con GCP (ajuste con puntos de control) y la posterior aerotriangulación del bloque, se generaron puntos de paso de forma automática distribuidos homogéneamente en todo el bloque, revisando que el proceso de correlación haya sido satisfactorio. En cuanto a los GCPs, se emplearon en total 22 puntos de control distribuidos en tres vuelos: 9 de ellos aplicaron para el ajuste del vuelo uno, 12 para el vuelo dos y 11 para el vuelo tres. El promedio de imágenes por puntos de control fue de 25, lo que implica que cerca del 15% de fotogramas contenían control en tierra. En total se emplearon 3611 imágenes discriminadas así: 1001 para el vuelo uno, 1298 y 1312 para los vuelo dos y tres, respectivamente.

Con base en el reporte de ajuste de cada uno de los bloques generados por el software, en cuanto al Root Mean Squared (RMS), error medio cuadrático de los puntos de control, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 6. Error Medio Cuadrático RMS por vuelo

Vuelo	X (m)	Y (m)	Z (m)
01	0.0067	0.0076	0.0211
02	0.0038	0.0067	0.0121
03	0.0097	0.0097	0.0285

Fuente: Elaboración de los autores





Resulta necesario para la generación del DTM (“Digital Terrain Model”-modelo digital de terreno), realizar una densificación automática de puntos o nube de puntos para cada bloque. Esta nube de puntos es almacenada en archivo tipo DAT y contiene los datos de coordenadas (X, Y) y elevación (Z) para cada uno de los puntos y cuya precisión se encuentra entre uno y dos pixeles en altura. Dicho proceso de densificación da origen al DSM (“Digital Surface Model”-modelo digital de superficie).

Dentro de la práctica para la generación de las ortofotos y el posterior mosaico ortorectificado se emplea un DTM, el cual debe estar bien editado. Además, los elementos constitutivos deben encontrarse sobre el terreno, sin árboles, edificaciones, vehículos, entre otros. Con base en ello, se hizo necesario hacer un filtrado de los datos del DSM obtenido por proceso de multicorrelación de las imágenes. Para esta clasificación, UAS Master® 7.0 emplea un algoritmo conocido como FBM (Emparejamiento con Base en Rasgos), el cual permiten separar automáticamente puntos del terreno y puntos de edificaciones o vegetación en función del tipo de terreno. Debido a las condiciones del área piloto, las cuales presentaban variaciones menores a 2° en la pendiente de la zona y a la necesidad de un producto en breve tiempo se aplicó una clasificación automática a la nube de puntos que da origen al DSM, esto es, por medio del valor promedio de la altura del terreno determinado por el software, para de esta manera obtener un DTM aproximado que facilitó la generación de las ortofotos y los mosaicos por vuelo.

Resultados

Es importante tener en cuenta que, heredado de la modificación hecha a los planes de vuelo programados y los procesos de aerotriangulación efectuados en función de la densidad de datos (imágenes) y la optimización del hardware, se obtuvieron de igual manera productos por vuelo, como se resume en las tablas 6 y 7.

Tabla 7. Formatos del producto DEM

Vuelo	No. Imágenes netas / proceso	No. Ptos correlados	Productos	formato
01	1001	94226	DSM	*.las
02	1298	108354		
03	1312	109734		

Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 8. Área de los Productos Ortofotomosaicos

Vuelo	Producto	Formato	Tamaño pixel (m)	Resolución radiométrica	Área cubierta/ mosaico (Ha)
01	Ortofoto-mosaico	*.tif	0.04	8 Bits	91,1
02					120,1
03					123,8

Fuente: Elaboración de los autores





Posterior a la generación de los Ortofotomosaicos por vuelo, se procedió a la integración de estos tres para la conformación del producto final con cobertura total del casco urbano. Esta labor requirió el empleo del software ERDAS Imagine V.2011 con las siguientes tareas de generación y edición de líneas de costura: ecualización de iluminación, balance de color, equilibrio del histograma y remuestreo del pixel de salida: 0,04 m.

La siguiente figura presenta la importancia de una adecuada edición de líneas de costura, la cual corrige la deformación presente en la edificación, vegetación y vía.



Figura. 2. Comparación de imágenes con edición de líneas de costura

Fuente: Elaboración de los autores

Análisis De Resultados

Evaluación de Precisión y Exactitud Cartográfica

Para el control de precisión, se emplearon las descripciones de los puntos denominados *Punto Control Precisión* para su lectura en ArcMap y la posterior evaluación.



Figura. 3. El zoom de trabajo para esta actividad fue de 1:10 a 1:20

Fuente: Elaboración de los autores





Figura. 4. Alineamientos para determinación de puntos de control

Fuente: Elaboración de los autores

La siguiente tabla resume los cálculos efectuados dentro del proceso de control de precisión. Dado que dicha labor debe efectuarse sobre el producto raster final se determinó hacer tres evaluaciones acorde a las escalas: 1:2000 (comercial IGAC), 1:1000 (casos especiales) y 1:500, dada la resolución espacial del ortofotomosaico inicial.

Se describen a continuación cada uno de los ítems relacionados en la tabla 9.

Tabla 9. Calculo Control de precisión

Resultados	Valor		
Escala	1:500	1:1000	1:2000
Número de puntos (n)	10		
Media (m)	0,11	0,11	0.10
Error medio cuadrático RMS (m)	0,13	0,13	0.12
Desviación estándar (m)	0,08	0.07	0.08
Error estándar (m)	0,02	0.02	0.02
Límite error grueso (m)	0,34	0.33	0.33
Intervalo de confianza para un 90% (m)	0,15	0.15	0.14

Fuente: Elaboración de los autores

Número de puntos para el control de precisión:

Para el caso particular, la comisión de geodesia determinó en campo ocho (8) puntos. Sin embargo, dada la posibilidad de inclusión de dos puntos geodésicos determinados dentro del casco urbano, estos últimos se añadieron al ejercicio, teniendo en este caso 10 puntos para esta labor. Es importante subrayar que conforme a la especificación técnica ET_Ortofotomosaico GSD20_V.1.0 del IGAC, deberían emplearse mínimo veinte (20) puntos, ya que un número menor de puntos no es una muestra representativa para la estimación de la exactitud en posición por el método de error medio cuadrático e intervalo de confianza. Pese a ello, y dada el área del producto, se optó por llevar a cabo el método mencionado.





Media:

El valor promedio de vector de desplazamiento de la imagen con respecto a los puntos determinados en campo es 0,11m para las escalas 1:500 y 1:1000; para la escala 1:2000 se observa un valor menor respecto a las otras dos: igual a 0.10m. Lo anterior podría llevar a preguntarse si una mayor resolución espacial del producto, conlleva a mediciones más exactas sobre éste.

Error medio cuadrático:

Dentro de las Normas de precisión final de la resolución número 64 de 1994 del IGAC, en cuanto a la precisión en Planimetría, se tiene que “el error medio cuadrático correspondiente es de 0.30 mm a la escala del mapa.” Específicamente, para los productos raster, el garante de tener una precisión similar a la cartografía de la misma escala es el efectuar mediciones sobre el terreno (a nivel del suelo). De igual manera sobre una imagen ortorrectificada, el RMS deberá tener el valor de un pixel y su equivalente en distancia sobre el terreno.

A partir de lo anterior se tiene que:

$RMS \text{ 1:500} = 0.30 \text{ mm} * EM \text{ (Modulo o factor de la escala)}$

$RMS \text{ 1:500} = 0.15 \text{ m}$

Por su parte, las escalas 1:1000 y 1:2000 tienen 0.30m y 0.60m, respectivamente.

Teóricamente, el RMS comprende la raíz cuadrada de la distancia media horizontal entre todos los puntos de control de precisión identificables y leídos en el mosaico respecto a sus contrapartes individuales adquiridas en terreno. En cuanto al cálculo de dicho parámetro, se aprecia que en los tres casos es menor a 0.15m, valor máximo permisible para la escala 1:500, acorde a la especificación técnica. Los resultados obtenidos para 1:1000 y 1:2000, de igual manera, estarían cumpliendo con holgura.

Desviación estándar

Dado que la desviación estándar permite establecer el grado de dispersión de los datos respecto del valor promedio, se encuentra que esta se está alejando de dicho promedio 0.077m para las tres escalas. En otras palabras, la oscilación de los datos con respecto al punto central es pequeña y no superior a los 0.09 m, en ninguno de los casos.

Error Estándar

Como el error estándar de la media permite determinar el grado de precisión con el que la media de la muestra estima la media de los datos, el valor del error estándar de la media para los puntos leídos es 0,02m para las tres evaluaciones. Dentro de la fundamentación teórica, el valor obtenido, al ser bajo, indica que la estimación ha tenido un buen grado de precisión de la media de los datos. Si se hubiese obtenido un valor mayor en la desviación estándar, de igual manera se hubiese incrementado el valor del error estándar, cuya estimación por ende sería menos precisa.





Limite Error Grueso

Debido a que el valor de la media se ve afectado en función de aquellos puntos cuyas diferencias en coordenadas N-E son mayores, el límite grueso por su parte alcanza el valor= 0.33m promediando —como se ha hecho hasta el momento— con las tres escalas. Analizando los puntos de control de precisión que tienen directa incidencia al respecto, se encuentra que son aquellos, cuya determinación se efectuó en los vértices de edificaciones, las que, debido a que el DTM no pasó por un proceso de edición, presentan deformaciones. Como es de esperarse cuando se excluyen de las estadísticas dichos puntos de control, CP-2, CP-5 y CP-7, tanto la media como el valor del límite grueso disminuyen notoriamente. De hecho, se aprecia un menor límite grueso para la escala 1:2000 con respecto a la 1:500 y 1:1000 como se detalla en la tabla 10.

Tabla 10. Calculo Control de precisión 7 puntos

<i>Escala</i>	<i>No. Puntos (n)</i>	<i>Media (m)</i>	<i>Limite Grueso (m)</i>
1:500	7	0.07	0.23
1:1000		0.07	0.21
1:2000		0.06	0.18

Fuente: Elaboración de los autores

De manera ilustrativa se puede verificar el comportamiento de los mencionados puntos en la siguiente imagen.

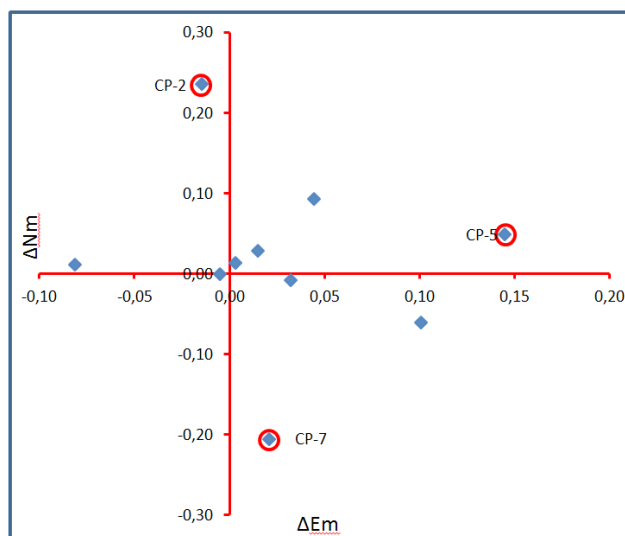


Figura. 5. Alineamientos para determinación de puntos de control

Fuente: Elaboración de los autores

Intervalo de confianza.

Para la determinación de este estadístico es importante definir cuál será el nivel de confianza (Z) a emplear. Para el producto sujeto a evaluación, se utilizó un valor de $Z = 1.645$ a fin de obtener un 90% de confiabilidad y un 10% de error.





La determinación del intervalo de confianza para el 90% permite estimar si los valores obtenidos en las mediciones estarán dentro de este intervalo. Sin embargo, para el ejercicio se debe considerar únicamente el límite superior, puesto que se busca encontrar el máximo valor con la probabilidad determinada.

Acorde a los valores de la tabla 9, se encontró que para la escala 1:2000 el IC90% = 0.14 m es menor que en las otras dos escalas evaluadas, pese a que el error estándar es igual para las tres escalas (0.02). El valor de la media para la escala 1:2000 es menor que en las otras, lo que hace que el intervalo tenga este comportamiento. Esto implica que al tener un intervalo de confianza menor, se ofrece una estimación más precisa, pero aumenta su probabilidad de error. Pese a lo anterior, el valor obtenido de la media de los datos para cada uno de los casos se halla por debajo del límite, como debe ser.

En términos generales, el resumen estadístico de la tabla 9 ha permitido mostrar un buen comportamiento del producto raster (ortofotomosaico) en cuanto a la evaluación de exactitud de posición.

Validación del producto cartográfico

Los análisis efectuados en el anterior apartado permitieron hacer un estimativo únicamente en cuanto a la exactitud del producto. Sin embargo, es necesario hacer una revisión con base en los demás ítems estipulados en la ET_Ortofotomosaico GSD20_V.1.0 del IGAC.

Tabla 11. Ítems para evaluación de Calidad

INFORME DE CALIDAD				
Item	Medida	Descripción	Resultado de conformidad	Observaciones
Comisión	Porcentaje de Comisión	% de áreas en exceso / límite del proyecto	El producto cumple con la medida de calidad 3%	No se habían definido límites exactos, por tanto estos ítems se cumplen
Omisión	Porcentaje de Omisión	% de áreas faltantes / límite del proyecto	el producto cumple con la medida de calidad 3%	
Consistencia Conceptual	Conformidad en la resolución espacial	Verificación del tamaño pixel del ortofotomosaico	Verdadero	Remuestreo del pixel = 0,2 m
Consistencia Conceptual	Conformidad de Resolución Espectral	Verificación de cantidad y correspondencia de bandas espectrales de la imagen	Verdadero	RGB
Consistencia Conceptual	Conformidad de Resolución Radiométrica	Verificación de número de niveles radiométricos	Verdadero	0-255
Consistencia de formato	Formato de entrega	Verificación de la estructura del formato	Verdadero	.Img.
Consistencia topológica	Consistencia del mosaico	Verificación empalme entre ortofotos adyacentes (continuidad cromática y geométrica)	El producto cumple con la medida de calidad ≤ 5%	Tener en cuenta número de imágenes = 3611 y proceso de remuestreo
Exactitud de posición externa o absoluta	Error medio cuadrático en posición	Desviación estándar de valor verdadero sobre mediciones de mayor exactitud posicional.	0.12 m Esc: 1:2000 0.13 m Esc: 1:1000	El método de evaluación se efectuó para las escalas (1:2000, 1:1000 y 1:500)

Fuente: especificación técnica Ortofotomosaico GSD20_V.1.0 del IGAC, 2016





Conclusiones

El producto raster ortofotomosaico, generado bajo condiciones similares a las del proyecto piloto (extensión, orografía, condiciones ambientales y climáticas entre otras), puede ser potencialmente útil a entidades territoriales tales como municipios, provincias y distritos, en cuanto a la posibilidad de contar con cartografía actualizada y de precisión próxima a la obtenida por medio de aeronaves tripuladas.

Es importante tener en cuenta que si bien el ortofotomosaico obtenido puede ser en cierta medida apropiado, no lo hace en igual medida el modelo digital del terreno (DTM), puesto que en el proceso de generación de éste, se explotan algoritmos automáticos para una aproximación a tal producto, el cual, para alcanzar un grado de mayor aptitud, requiere de actividades de edición, preferiblemente en ambiente estereoscópico, dada las prestaciones y desarrollo actual de los software de procesamiento para este tipo de imágenes.

La necesidad de fotocontrol resultó evidente por cuanto se pretendía hacer un ejercicio de validación del producto ortofotomosaico con las prestaciones similares a las de un ortofotomosaico obtenido con cámara fotogramétrica y aeronave tripulada.

En cuanto a la exactitud de posición absoluta, los puntos de control de precisión mínimos requeridos acorde exigencias de las especificaciones técnicas para la elaboración de Ortofotomosaicos: “no deben ser menores a veinte (20)...no obstante la definición del número de puntos se establecerá de acuerdo con las características específicas del proyecto”. Considerando lo anterior, se aprecia que los resultados de la prueba fueron satisfactorios. Ello debido en gran medida a las características de la zona de estudio, principalmente a la topografía, cuyos valores de pendiente en general no superaron el 2 %. En este sentido, al ser un área bastante plana, se consigue un efecto positivo en la geometría del bloque que repercute en los procesos de correlación de las imágenes, que tuvieron un comportamiento favorable en términos de redundancia de datos. Por tanto, contar con solo diez puntos de control fue suficiente acorde a la condición de prueba del proyecto.

El producto ortofotomosaico fue evaluado atendiendo a las especificaciones ET_Ortofotomosaico GSD10_V.1.0 y ET_Ortofotomosaico GSD20_V.1.0 dadas sus características. Lo anterior tuvo los siguientes propósitos:

- Considerar la viabilidad del uso del producto ortofotomosaico derivado de aeronaves remotamente tripuladas ART para áreas urbanas menores a 500 ha localizadas en zonas planas, con el propósito de brindar amplias posibilidades de actualización catastral a un gran número de centros poblados del país y a costos visiblemente razonables.
- Determinar a partir de ello la calidad de producto, descrito como el conjunto de propiedades y características de un producto que le otorgan su aptitud para satisfacer necesidades establecidas e implícitas, NTC 5043.





- Tomar como punto de partida las especificaciones citadas para la elaboración de una especificación técnica aplicable en su totalidad, a productos cartográficos derivados de imágenes obtenidas a partir de ART.
- Dentro de los diversos usos que tiene un ortofotomosaico, se encuentra el de insumo al componente físico-jurídico para la función del catastro en cuanto al apoyo de las actividades de planeación y ejecución del levantamiento planimétrico predial, mapa catastral digital y soporte para la representación entre otras; apoyo posible con el producto generado, puesto que como se citó previamente, cumple con las Especificaciones Técnicas de Cartografía Básica IGAC.



Bibliografía

- Ariza López, F. (2001). *Calidad en la Producción Cartográfica. España*.
- Atkinson Gordo, A. D. (2001). *Los Diferentes Test para el Control de Calidad Posicional en Cartografía*. Cáceres, España.
- Federal Geographic Data. (1998). *Geospatial Positioning Accuracy Standards*. Part 3. Virginia, Estados Unidos.
- Garcia, J. L. (2002). *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. Valencia: U.P.V.
- ICAC. (Diciembre de 2009). *Instructivo Diseño de Vuelos Fotogramétricos V.1*. Bogotá, Colombia.
- ICONTEC. (2008). *Documentación, presentación de trabajos, tesis y otros trabajos de investigación*. Bogotá, Colombia.
- IDECA. (Mayo de 2013). *Instructivo para la Elaboración de Planes de Producción de Información Geográfica*. Bogotá, Colombia.
- IDECA. (s.f.). *Política de Producción de Información Geográfica*. Bogotá, Colombia.
- IDECA. (s.f.). *Reglamentación Política de Producción de Información Geográfica*. Bogotá, Colombia.
- IGAC. (1994). *Resolución Número 64 de 1994*. Bogotá, Colombia.
- IGAC. (2010). *Instructivo*. Bogotá: N/A.
- IGAC. (Octubre de 2011). *Manual de Procedimientos Toma de Aerofotografías*. Bogotá, Colombia.
- IGAC. (Septiembre de 2014). *Metodología Investigación, Desarrollo e Innovación*. Bogotá, Colombia.
- IGAC. (2016). *Especificaciones Técnicas Cartografía Básica*. Bogotá, Colombia.
- Martínez Casasnovas, J. (1999). *Modelos Digitales de Terreno: Estructuras de Datos y Aplicaciones de análisis de formas del terreno y en Edafología*. Lleida: Quaderns Dmacs, Núm. 25.
- NTC 5043. (16 de 01 de 2000). *Información Geográfica Conceptos Básicos de Calidad*. Bogotá, Colombia.
- NTC 5205. (22 de 10 de 2003). *Precisión de Datos Espaciales*. Bogotá, Colombia.
- NTC 5660. (19 de 05 de 2010). *Información Geográfica Evaluación de la Calidad. Procesos y Medidas*. Bogotá, Colombia.
- Paez Lancheros, A. (2013). *La calidad en los mapas*. Bogotá, Colombia.



**Adquiera
libros y mapas
sin salir de casa**

TIENDA VIRTUAL

¡A un solo clic!

<https://tiendavirtual.igac.gov.co>

Escanee ahora y compre



**Nuestros productos son exentos de IVA
y a precio de costo.
Envíos a domicilio a nivel nacional.**

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI





Caracterización de niveles de intervención antrópica en ecosistemas de páramo utilizando análisis de imágenes multiespectrales

Characterization of anthropic intervention levels in paramo ecosystems by multispectral image analysis

Omar Enrique Peláez-Martínez¹, Gloria Yaneth Flórez-Yepes²,

Óscar Cardona-Morales³

Resumen

La vegetación juega un papel importante como indicador del estado de los ecosistemas de humedales. En ese sentido, el sensoramiento remoto brinda la posibilidad de determinar el estado del ecosistema y permite reducir los tiempos de evaluación de los humedales. No obstante, el uso de imágenes satelitales en regiones de alta montaña es limitado por el alto grado de nubosidad. Adicionalmente, la resolución espacial no permite una adecuada clasificación del tipo de vegetación, generando dificultades para realizar análisis de terreno con escalas a nivel de detalle. En este trabajo se hace una evaluación de humedales altoandinos empleando imágenes adquiridas desde una aeronave remotamente tripulada. La zona de estudio está ubicada en el sector El Ocho, zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados, en un ecosistema de páramo con una altitud de 3.500 m.s.n.m., y con un área de 7,4 ha. La metodología para la realización del presente proyecto se compone de tres pasos: a) el humedal se dividió en cuatro sectores según su nivel de afectación antrópica, y se calculó el índice de Margalef en una parcela aleatoria; b) se obtuvieron imágenes aéreas mediante un ART (campo visible y multiespectrales), para posteriormente calcular el índice verde en todo el humedal y compararlo con el NDVI de sectores de prueba, y finalmente, c) se realizó una confrontación entre el índice verde con el estado de deterioro ambiental y el NDVI. Como resultado, se obtuvo una relación entre los valores del índice verde y su correlación con los niveles de intervención del ecosistema.

Palabras clave: teledetección, ecosistema humedal, imágenes multiespectrales, índices de vegetación.

1. Ingeniero forestal. Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos y Ambientales, Universidad Católica de Manizales. Correo: omar.pelaez@ucm.edu.co.

2. Mg en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos y Ambientales, Universidad Católica de Manizales. Correo: gyflores@ucm.edu.co.

3. PhD en Ingeniería Automática. Grupo de Investigación en Desarrollos Tecnológicos y Ambientales, Universidad Católica de Manizales. Correo: ocardonam@ucm.edu.co.





Abstract

Vegetation plays an important role as an indicator of the wetland ecosystem state. In that regard, remote sensing provides the possibility to determine the ecosystem state, allowing reducing the time consumption of wetland assessment. Nonetheless, satellite images from high mountain regions are not commonly used because those images present a high level of cloudiness. Besides, the spatial resolution does not allow an adequate classification of the vegetation types, generating several difficulties to perform a ground analysis on high detailed-scale. In this work, it is presented an assessment of high-Andean wetlands using multispectral images acquired from an unmanned aerial vehicle. The study region is located at El Ocho sector, the buffer zone of the Los Nevados National Natural Park, in wasteland ecosystem with an altitude of 3500 m above sea level, and 20 ha of area. The methodology comprises three stages: a) The wetland was divided into four sectors according their anthropic affectation level; b) the vegetation indexes were obtained from aerial images captured using a RPAS (visible and multispectral), and then, the green index was calculated in the wetland and compared against NDVI in testing patches; Finally, c) it was performed the correlation between the green index and the environmental damage. As a result, the computed indexes showed a high correlation with the ecosystem intervention levels.

Keywords: *Remote Sensing, wetland, multispectral image, vegetation index.*





Introducción

La vegetación es uno de los recursos naturales más importantes en el momento de evaluar los ecosistemas de humedales, pues se convierte en un indicador fundamental de su estado. Para esto, es necesario disponer de información cuantitativa frente a su diversidad y distribución. Los humedales altoandinos, especialmente aquellos ubicados en zonas de páramo, poseen una vegetación particular, tanto por las condiciones climáticas como por las edáficas, que hacen que tengan características especiales y que muchos se encuentren en vías de extinción.

Muchos factores pueden influir en el estado de los humedales, como la presencia de sistemas productivos aledaños a estos ecosistemas, los cuales se ven afectados principalmente por las malas prácticas culturales asociadas principalmente al uso de agroquímicos y el tratamiento inadecuado del suelo para la producción. Estos factores tienen una injerencia directa sobre la biodiversidad, ocasionando homogeneidad en los procesos de regeneración natural, así como la pérdida de especies valiosas y difíciles de recuperar.

La vegetación, como indicador del estado del humedal, permite conocer de manera rápida el comportamiento que está tomando el ecosistema. En este sentido, donde hay más humedad encontramos especies asociadas a familias como la Poaceae y la Plantaginaceae, y a otras que contribuyen altamente a la regulación hídrica del humedal. Así mismo, en los humedales más intervenidos encontramos otro tipo de especies que se encuentran de manera más homogénea dentro del humedal.

Tradicionalmente, la discriminación de especies para cartografía florística requiere un trabajo de campo intenso, que incluye información taxonómica y la estimación visual del porcentaje de cobertura de cada especie. No obstante, esta tarea implica costos elevados y largas jornadas de trabajo, las cuales, en algunos casos, son imposibles de llevar a cabo por la inaccesibilidad de terreno, incluyendo la posible afectación antrópica que genera el mismo levantamiento de información de campo (Lee & Lunetta, 1995). El sensoramiento remoto, por otra parte, permite discriminar de forma práctica y económica los parámetros biofísicos y bioquímicos de las especies del humedal y facilita el monitoreo de la zona de forma más eficiente (Adam, Mutanga & Rugege, 2010). Las plantas de los humedales y sus propiedades no son fácilmente detectables como las plantas de otros tipos de ecosistemas, debido a que la vegetación del humedal exhibe alta variabilidad espectral y espacial que, a su vez, son ocasionadas por gradientes ambientales pronunciados, lo cual produce una demarcación aguda y ecotonos cortos entre individuos (Adam & Mutanga, 2009). Adicionalmente, la cubierta de la vegetación del humedal tiende a ser muy similar y se puede confundir por la reflectancia del suelo subyacente, el régimen hidrológico y el vapor atmosférico (Yuan & Zhang, 2006). Por lo tanto, la cartografía de vegetación terrestre usando teledetección puede no ser factible para distinguir vegetación de humedal porque las bandas de infrarrojo cercano y medio son atenuadas por las ocurrencias de agua y suelo húmedo (Zomer, Trabucco & Ustin, 2009), factores que se presentan en la zona de estudio con mucha frecuencia.





En ese sentido, muchos autores han realizado estudios de humedales empleando diferentes tipos de índices de vegetación, con la finalidad de encontrar aquel que permita una mayor clasificación de la vegetación. Comúnmente, el más utilizado es el índice de vegetación normalizado (NDVI), dado que permite relacionar de forma efectiva las bandas de rojo en infrarrojo donde se presenta un gradiente en la reflectancia de la vegetación (Guo, Li, Sheng Xu, & Wu, 2017). No obstante, un factor relevante en los humedales altoandinos es la disponibilidad de imágenes multiespectrales provenientes de satélites debido a la cantidad de nubosidad de la zona, al encontrarse en un área de influencia de ecosistemas glaciares y a una altitud superior a los 3.000 m.s.n.m. Por tal razón, en este trabajo se hace uso de imágenes aerotransportadas para mejorar la claridad de la imagen en el área de estudio y la resolución espacial, dado que los humedales altoandinos no tienen extensas coberturas terrestres. Otro aspecto relevante es el creciente uso de aeronaves remotamente tripuladas (ART), las cuales permiten un monitoreo periódico con sensores ópticos RGB y cámaras multiespectrales. Sin embargo, como se mencionó, el procesamiento de dichas imágenes se torna complejo porque la reflectancia de la vegetación de humedal es muy homogénea en las bandas del rojo y el infrarrojo cercano.

En este artículo se presenta una metodología para cuantificar el nivel de intervención antrópico de los humedales empleando técnicas de teledetección. Para tal efecto, se propone el uso del índice de Margalef para cuantificar la biodiversidad en el humedal y, por ende, tener un estimativo de la intervención antrópica generada principalmente por actividad ganadera. Para establecer una correlación respecto al sensoramiento remoto, para el procesamiento de imágenes se propone un análisis multitemporal empleando dos tipos de sensores, UltraCam D y DJI Phantom. Las imágenes fueron adquiridas en el 2008 y el 2017, respectivamente. Para hacer las imágenes comparables, se realizó una calibración radiométrica empleando el método de corrección lineal empírico (ELC) y se procedió a calcular el NDVI en contraste con el índice verde (IV), teniendo como base tanto la coloración típica de la vegetación de humedal como la posibilidad de facilitar el proceso de monitoreo con cámaras RGB y ART convencionales. Por último, se comparó el IV entre ambas imágenes, y por medio de una clasificación basada en umbralización se determinaron las zonas con mayores cambios que están relacionadas con la intervención antrópica encontrada. La zona de estudio está ubicada en el sector El Ocho, zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados, en un ecosistema de páramo con una altitud de 3.500 m.s.n.m. y un área de 7,4 ha.

Desarrollo teórico y metodológico

El enfoque metodológico del artículo se describe en la figura 1, y se compone de las etapas de calibración (geométrica y radiométrica), estimación de índices espectrales asociados a vegetación, y la caracterización mediante el índice de Margalef para cuantificar un estado de biodiversidad del ecosistema.



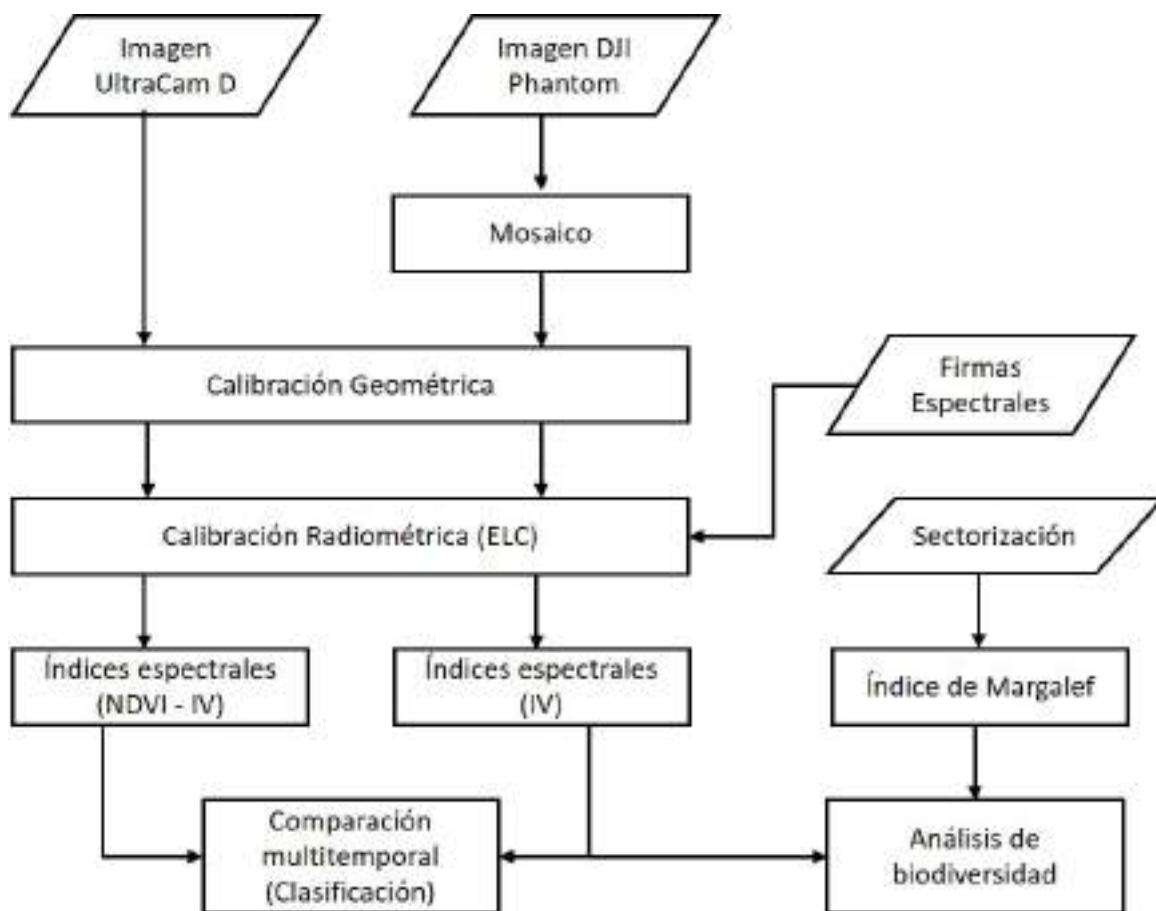


Figura 1. Enfoque metodológico

Fuente: elaboración de los autores.

Sectorización y cálculo del índice de Margalef

El área de estudio corresponde a 7,4 hectáreas, dentro de las cuales se hizo una sectorización y se dividió el humedal en cuatro sectores (figura 2). Esta sectorización se realizó teniendo en cuenta los criterios de: a) tipos de coberturas, b) vegetación asociada a espejos de agua y vegetación asociada a turbera, y c) vegetación asociada a intervención antrópica.

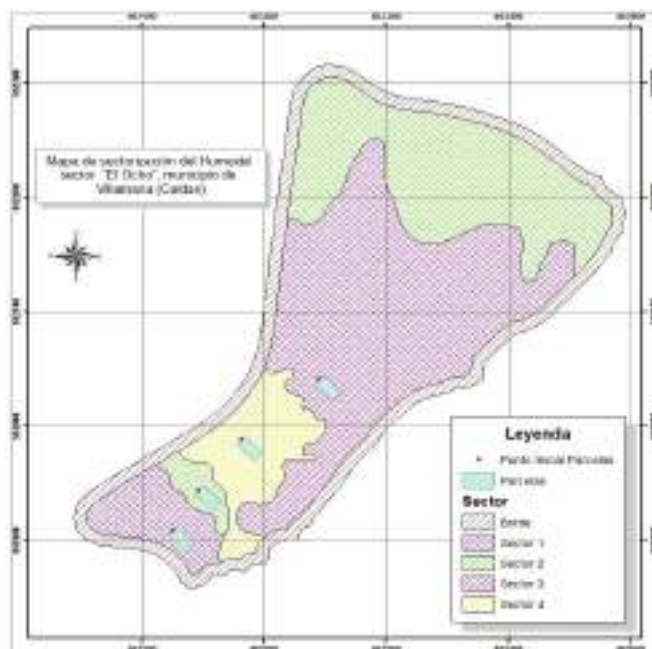


Figura 2. Parcelas por sectorización antrópica del humedal

Fuente: elaboración de los autores.





El estudio florístico se realizó a partir de la evaluación de cuatro parcelas temporales de 200 metros cuadrados (equivalentes al 1% del área de la zona de estudio), las cuales se georreferenciaron y espacializaron en las imágenes aéreas. El inventario de las parcelas se realizó al cien por ciento, registrando la taxonomía vegetal de cada individuo, lo que permitió establecer el número de ejemplares por familias y por especie.

El índice de Margalef se aplicó a través de la fórmula:

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde

S = Número de especies

N = Número total de individuos

Como se puede observar en la figura 3, el sitio donde se encuentra la mayor biodiversidad es el sector 1, que corresponde a la parte alta del humedal, y el sitio con el índice de Margalef más bajo en el sector 4, correspondiente a la parte baja, el cual se caracteriza por presentar rastros de afectación antrópica por pastoreo, con la secuela del establecimiento de gramíneas. El índice general de biodiversidad para las cuatro parcelas del área de estudio es de 0,79, lo cual indica que, en términos generales, es un humedal con un alto grado de biodiversidad.

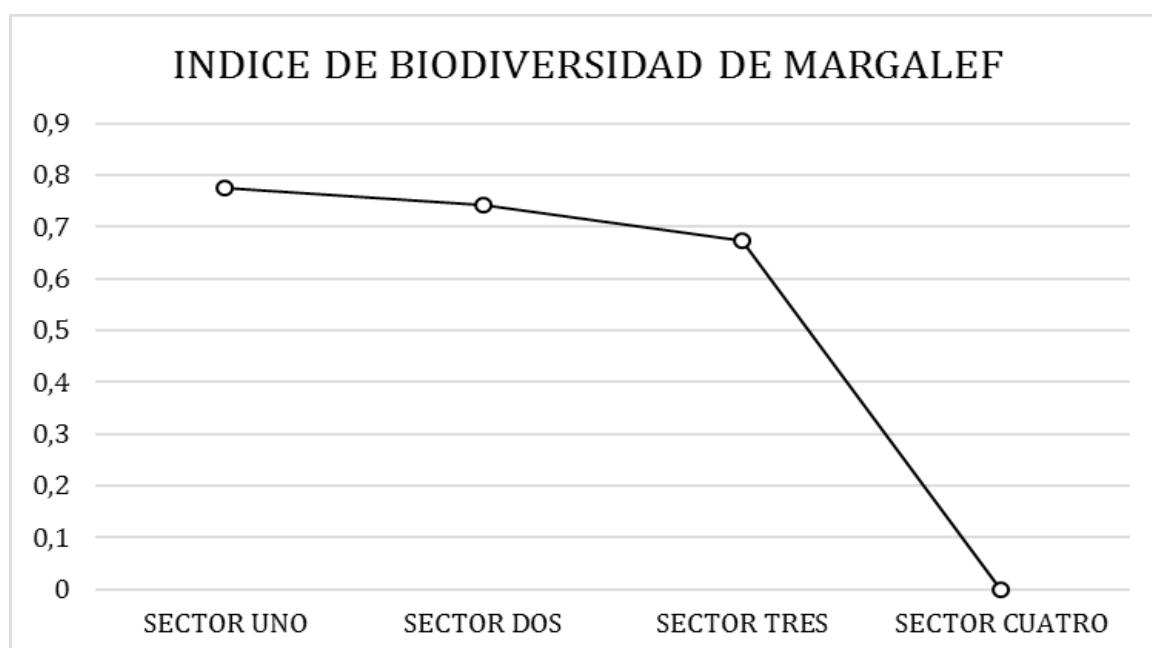


Figura 3. Índice de biodiversidad por sectores

Fuente: elaboración de los autores.



Los sectores presentan las siguientes características:

Sector 1 (área parte alta): con vegetación asociada a un espejo de agua de aproximadamente 20 metros cuadrados (figura 4a). En esta zona se encontraron siete familias con un índice de diversidad de 0,77, lo que indica que el humedal se encuentra en buenas condiciones de biodiversidad. En esta zona, el humedal no tiene afectaciones antrópicas. La vegetación asociada está representada por especies, en su mayoría, arbustivas. Las familias que poseen mayor número de especies son Hypericaceae y Ericaceae. Dentro de las especies que más sobresalen, aledañas a este espejo de agua, está el pajonal (*Calamagrostis effusa*). En este sector se encontró el índice de biodiversidad más alto en relación con toda la zona estudiada.

Sector 2 (posterior al sector 1): con vegetación en transición entre el área conservada y el área intervenida (figura 4b). En este sector se determinó un índice de biodiversidad de 0,74, un poco menos que el sector uno, con una abundancia marcada de la familia Asteraceae, con diferentes especies; el más abundante de esta familia es el *Pentacalia vaccinioides*. Igualmente se destaca, en la familia Hypericaceae, la especie *Hypericum goyanesii*, con una presencia muy marcada en este sector. De la familia Asteraceae se encontraron cinco especies diferentes, mientras que de las familias Hypericaceae, Melastomataceae y Ericaceae se encontró una especie, con diferente número de individuos.

Sector 3 (posterior al sector 4): con presencia de humedal tipo turbera (figura 4c). Este sector se caracteriza por presentar pajonales, los cuales son utilizados por conejos y cusumbos como madrigueras o pasaderos. Un aspecto importante es la alta presencia de humedad con vegetación indicadora de esta, como el plántago y el pajonal. El índice de biodiversidad para este sector fue de 0,67. Este sector presenta menor índice de biodiversidad que los anteriores, y es posible que esto se deba tanto a la presencia de pajonales y a la alta presencia de *Hypericum goyanesii* y de *Pentacalia vaccinioides*, como a la cercanía al sistema productivo de ganadería que se encuentra dentro del humedal. La familia Hypericaceae es la que tiene mayor abundancia de especies (con un total de dos), una de ellas, con más de 34 individuos (*Hypericum goyanesii*). La familia Asteraceae en este sector muestra una sola especie con 40 individuos, y existe una alta influencia del *Pentacalia vaccinioides*. Las especies que más se encuentran asociadas al contenido de humedad o a espejos de agua son los pajonales y el plántago.

Sector 4: el principal sistema productivo que afecta a los humedales altoandinos es el ganadero extensivo. En gran parte del humedal estudiado hay presencia de ganadería (figura 4d), y los principales impactos que se evidencian son los siguientes:

- Disminución de la biodiversidad: esta disminución se da principalmente por el ramoneo y pisoteo del ganado en la zona del humedal, que causan compactación del suelo y disminución de la posibilidad de regeneración natural, ya que la compactación del suelo, a través del tiempo, dificulta la penetración del agua, lo que hace que los humedales tiendan a desaparecer. En la medida en que aumenta la escorrentía, igualmente aumenta el lavado de nutrientes y la pérdida de la capacidad de regulación hídrica, que es una de las principales funciones de estos ecosistemas.
- Erosión por pata de vaca: esta es una de las problemáticas más severas que ocurren en la zona de estudio, pues este tipo de erosión ocasiona terraceo en el suelo. El área





de influencia directa del humedal presenta una leve pendiente, lo que favorece que los procesos erosivos no sean tan severos.

- Homogeneidad vegetal: cuando se amplía la frontera agropecuaria, eliminando la vegetación natural, los procesos de regeneración se vuelven muy homogéneos. Este es el caso en los sectores 2 y 3 del área de estudio, donde especies como *Pentacalia vaccinioides* aparecen de manera muy homogénea, especialmente cerca de la zona de potrero. Lo mismo se observa con las especies de la familia Hypericaceae, las cuales presentan una alta homogeneidad.
- Generación de residuos orgánicos y líquidos: la presencia de ganado dentro de los humedales hace que aumenten los residuos, tanto por heces fecales, que pueden incrementar los coliformes, como por el movimiento del suelo y del agua al entrar al humedal, lo cual causa una mayor sedimentación. Cuando los humedales tienen alta sedimentación, tanto por residuos sólidos y líquidos como por la presencia de agroquímicos producto de la fertilización de los pastos o del tratamiento de los cultivos de papa, también puede ocasionarse eutrofización. Para el caso del humedal estudiado, a pesar de que el número de vacas por hectárea es reducido, sí se puede observar una gran cantidad de excremento que afecta de manera directa su estado.
- Secamiento del humedal: finalmente, este es el mayor impacto ambiental que se genera. En la zona de estudio es evidente que el área afectada por la ganadería ha reducido el contenido de humedad del suelo y se nota una diferencia significativa entre el área afectada y aquella no afectada por este sistema productivo. Esto, unido al contenido de humedad reducido, también se nota en la pérdida de regeneración natural y de materia orgánica en el suelo, lo que disminuye la posibilidad de una buena infiltración y, por lo tanto, genera un aumento en el secamiento del humedal.



(a) Sector 1



(b) Sector 2



(c) Sector 3



(d) Sector 4

Figura 4. Fotografías de la vegetación típica de cada parcela

Fuente: elaboración de los autores.

Adquisición y procesamiento de las imágenes

Equipos: en la realización del proyecto se utilizaron los equipos del laboratorio de espectrometría de la Universidad Católica de Manizales, en especial el ART y los espectrómetros (figura 5). Los parámetros de los sensores utilizados (UltraCam D y DJI Phantom) se muestran en la tabla 1.



Figura 5. Fotografías de los equipos del laboratorio de espectrometría: espectrómetro (izq.) y UAV Phantom 4 Advanced (der.)

Fuente: elaboración de los autores.

Tabla 1. Parámetros de los sensores utilizados

Sensor	Resolución radiométrica	Banda N°	Ancho de la banda (nm)	Nombre de la banda
Vexcel UltraCam D	12 bits	1	410-540	Azul
		2	480-630	Verde
		3	580-700	Rojo
		4	690-1000	NIR
DJI Phantom (Sony)	8-10 bits	1	400-560	Azul
		2	460-650	Verde
		3	560-700	Rojo

Fuente: elaboración de los autores.





Procesamiento digital de las imágenes: en esta etapa se transformaron los datos a los formatos y sistemas de referencia requeridos para el estudio. Las fotografías captadas por la cámara del DJI Phantom, al estar en formato *.jpg, fueron procesadas directamente por el software PIX4D (figura 6b). Luego los dos mosaicos y la imagen de la cámara UltraCam D fueron referenciados en el sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (en inglés, *Universal Transverse Mercator* [UTM]), región 18 norte (figura 6a).

Corrección radiométrica: se realizó a través del método de corrección lineal empírica (ELC, por la sigla en inglés de *Empirical Line Correction*). Este método permite realizar transformaciones radiométricas específicas por banda, entregando los valores en términos de reflectancia a nivel del suelo (corrección atmosférica) (Harris Geospatial Solutions, 2017) (figura 7). Para poder realizar de forma correcta este procedimiento de ELC, en campo se realizó la toma de firmas espectrales de: a) asfalto, b) agua, c) vegetación (*Espeletia argentea*), d) vegetación (*Holcus lanatus*) y e) suelo expuesto, empleando el espectrómetro Flame-T (VIS-NIR) de Ocean Optics.



Figura 6. Comparación en color verdadero de las imágenes corregidas (ELC) de las cámaras UltraCam D (2008, izq.) y DJI Phantom (2017, mosaico, der.)

Fuente: elaboración de los autores.

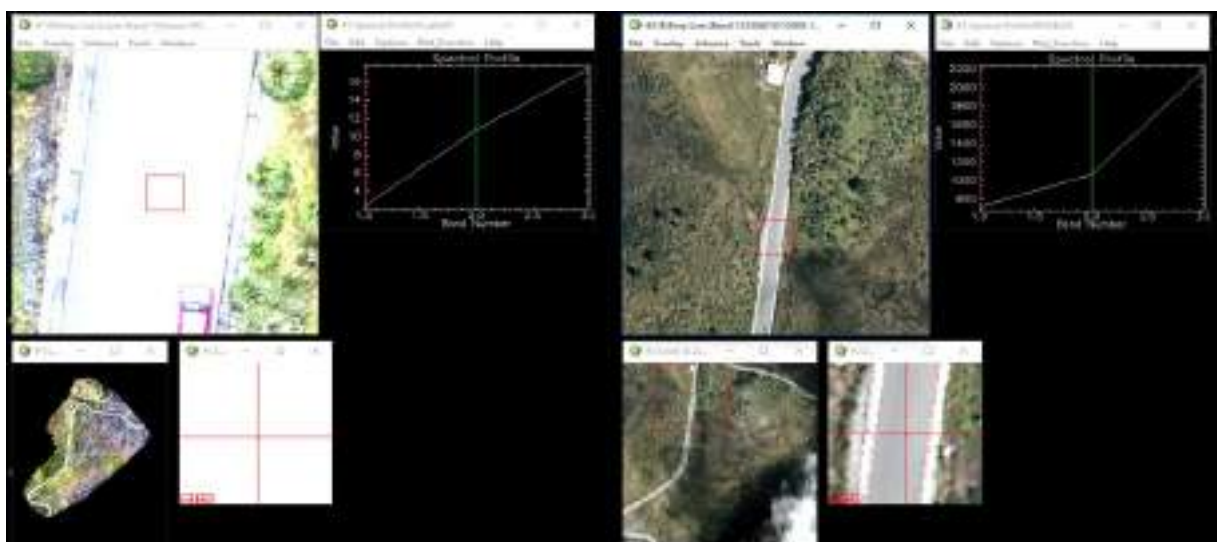


Figura 7. Comparación de las firmas espectrales de las imágenes multispectrales y de campo visible después de la calibración lineal empírica: DJI Phantom, 2007 (izq.) y UltraCam D, 2008 (der.)

Fuente: elaboración de los autores.





Caracterización y evaluación empleando índices espectrales

Los índices espectrales (IE) son el producto de la comparación de dos regiones del espectro electromagnético (EEM), generalmente discriminadas por ser las regiones de mayor y menor reflectancia en una curva espectral. Los índices espectrales de vegetación son un subtipo de IE, se calculan según la curva de reflectancia de la hoja en distintas regiones del EEM y nos entregan una medida cuantitativa que representa la biomasa o vigor vegetal. Esta medida se calcula a través de los niveles digitales (ND) que contiene la imagen (figura 8).

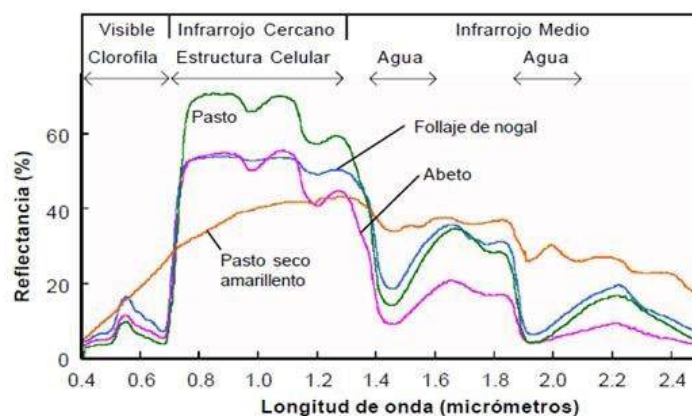


Figura 8. Espectros de reflectancia de diferentes tipos de vegetación verde según el elemento estructural de la hoja que interviene
Fuente: Smith (2012).

En el presente proyecto se utilizaron dos índices de vegetación: 1) el índice verde (IV), el cual se obtiene de la relación entre la banda roja y la banda verde, y 2) el índice de vegetación normalizado (NDVI, por la sigla en inglés de *normalized difference vegetation index*). Estos están diseñados para producir un valor simple que indica la cantidad o el vigor de la vegetación dentro de un pixel. Los altos valores de índices de vegetación identifican pixeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable.

Al comparar los índices espectrales de IV y NDVI (figura 9) se debe tener en cuenta que, a nivel de vegetación, lo primero, al trabajar en la región del visible, nos va a indicar la presencia del color verde como resultado de la actuación de los pigmentos. En cambio, el NDVI, al utilizar la región visible y la región del infrarrojo cercano, revela información a nivel estructural de las hojas (figura 8). En el área de estudio encontramos vegetación con gran cantidad de pigmentos verdes, pero también se encuentra vegetación con carotenos (especialmente las xantofilas), por lo cual el índice verde mostrará un comportamiento de sobrestimación hacia valores altos en vegetación con grandes cantidades de clorofila, pero que no necesariamente están realizando un proceso fotosintético activo; por el contrario, las plantas que estén fotosintéticamente activas, pero presenten gran cantidad de carotenoides, el índice verde las subestimarán.



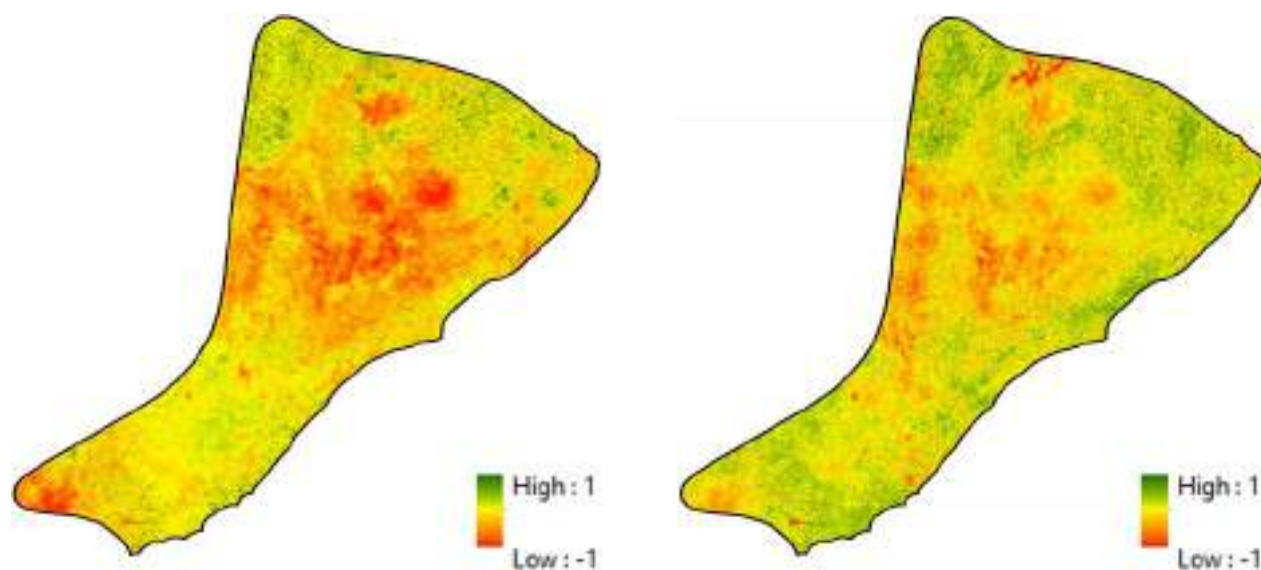
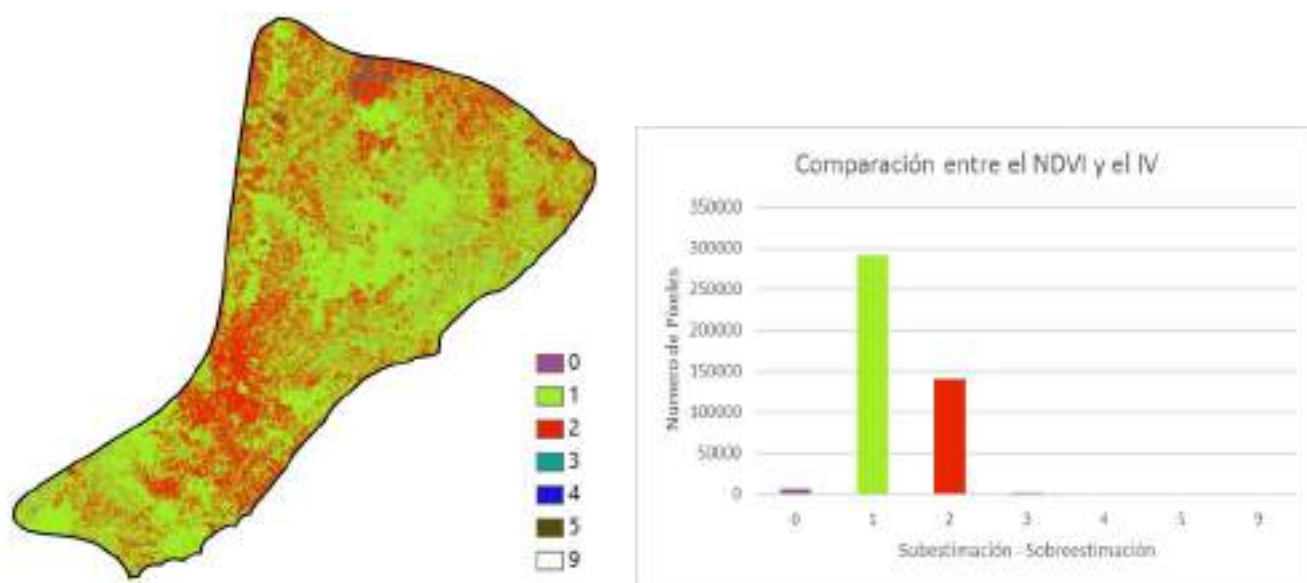


Figura 9. Comparación del índice verde normalizado (R-G/R+G) (izq.) y el NDVI (NIR-R/NIR+R) (der.) en imágenes corregidas (ELC) de la cámara UltraCam, 2008

Fuente: elaboración de los autores.



Comparación pixel a pixel entre los índices NDVI e IV

Cantidad de píxeles subestimados y sobrestimados entre los índices NDVI e IV

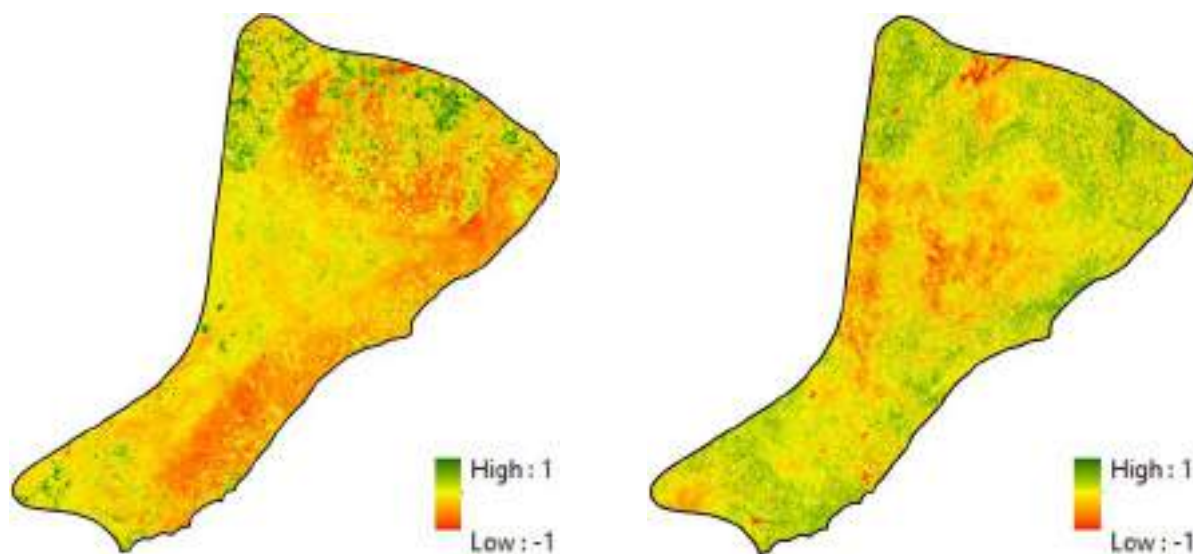
Figura 10. Resultado de la comparación del índice verde normalizado (R-G/R+G) y el índice NDVI en imágenes corregidas (ELC) de la cámaras UltraCam

Fuente: elaboración de los autores.

Validación del índice verde normalizado

Como se muestra en la figura 10, al realizar la comparación entre el IV y NDVI a nivel de píxeles (después de realizar una clasificación en 10 clases) se determinó que el índice verde realiza una sobrestimación entre una y dos clases, es decir los valores que el NDVI ubica en la clase 5 (correspondiente a valores de -0,2 a 0,0), en el IV se ubican en la clase 6 (correspondiente a valores de 0,0 a 0,2).





Índice verde normalizado,
UltraCam, 2008

Índice verde normalizado,
DJI Phantom, 2017

Figura 11. Comparación del índice verde normalizado (R-G/R+G) en imágenes corregidas (ELC) de las cámaras UltraCam y DJI
Fuente: elaboración de los autores.

Comparación multitemporal entre el índice verde normalizado

Para realizar la comparación del cambio que ha sufrido el humedal El Ocho por afectaciones antrópicas a partir del cálculo del índice verde normalizado, se procedió a clasificar cada periodo en 10 clases (tabla 2), y posteriormente se realizó una comparación de pixel a pixel (figura 11), obteniendo como resultado un deterioro general del humedal, donde algunos sectores alcanzaron a retroceder hasta 6 clases (tabla 3).

Tabla 2. Intervalo de clases por valores

Intervalo de clase	Número de clase
- 1,0 a -0,8	1
- 0,8 a -0,6	2
- 0,6 a -0,4	3
- 0,4 a -0,2	4
- 0,2 a 0,0	5
0,0 a 0,2	6
0,2 a 0,4	7
0,4 a 0,6	8
0,6 a 0,8	9
0,8 a 1,0	10

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Porcentaje de área que ha retrocedido a nivel de clase según el índice verde normalizado

Nº	Retroceso	Área m2	Porcentaje
1	-6	1,3485	0,002%
2	-5	85,6312	0,116%
3	-4	34.454,5709	46,580%
4	-3	35.366,1718	47,812%
5	-2	3.982,5229	5,384%
6	-1	58,6607	0,079%
7	0	9,4397	0,013%
8	1	10,1139	0,014%
9	2	0,8428	0,001%
Total		73.969,3024	100,00%

Fuente: elaboración propia.





Al realizar la correlación entre el IV y el índice de Margalef (figura 12), se observa que el análisis propuesto a través de los índices tiene una correspondencia para cada uno de los sectores establecidos. Esto indica que el IV puede ser utilizado como un indicador indirecto de la biodiversidad en el ecosistema de estudio. La baja correlación ($R^2 = 0,5511$) es producto del sesgo que introduce el bajo índice de Margalef para el sector 4, el cual es cercano a cero. No obstante, al descartar este sector la correlación alcanza un valor de $R^2 = 0,7665$, el cual indica que para los sectores donde no hay una alta intervención antrópica, los IV pueden ser un indicador adecuado asociado a la biodiversidad.

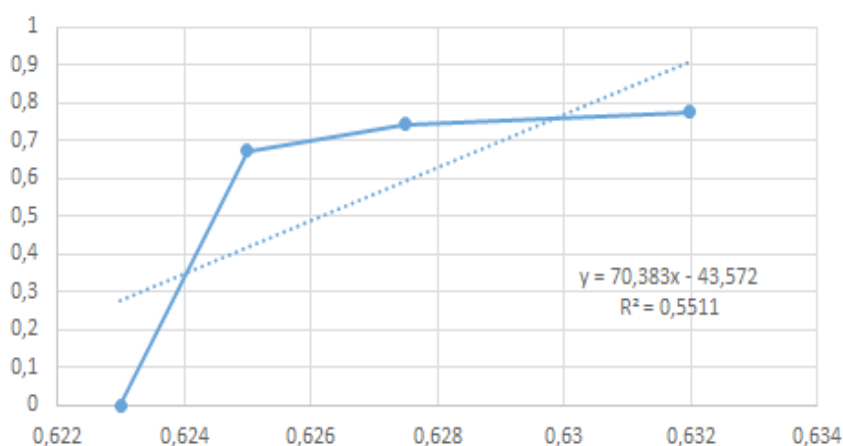


Figura 12. Relación entre el IV y el índice de Margalef

Fuente: elaboración de los autores.

Conclusiones

- El índice verde normalizado se constituye en una herramienta alterna que puede utilizarse en ausencia de la banda del infrarrojo cercano, con unos resultados cercanos a los entregados por el índice de vegetación normalizado. También brinda la posibilidad de ser utilizado para análisis de biodiversidad de forma indirecta, evitando así generación de factores de intervención antrópica ocasionados por los recorridos de campo y brindando información de zonas de difícil acceso.
- El humedal estudiado muestra dos procesos generales: el primero es la degradación general de la cobertura vegetal, pero también se ha presentado un fenómeno de isla en dos regiones que han consolidado los procesos de regeneración vegetal.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Católica de Manizales por el soporte financiero mediante el proyecto de investigación *Aplicabilidad de índices espectrales para la evaluación del estado de los humedales altoandinos empleando una cámara multispectral soportada por un vehículo aéreo no tripulado. Caso de estudio complejo de humedales El Ocho y páramo de Letras*. Adicionalmente, extienden los agradecimientos al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y al Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF) por el permiso para el uso de los datos de la cámara UltraCam D.





Bibliografía

- Adam, E. & Mutanga, O. (2009). Spectral discrimination of papyrus vegetation (*Cyperus papyrus* L.) in swamp wetlands using field spectrometry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 612-620. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.04.004>.
- Adam, E., Mutanga, O. & Rugege, D. (2010). Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: A review. *Wetlands Ecology and Management*, 18(3), 281-296. <https://doi.org/10.1007/s11273-009-9169-z>.
- Guo, M., Li, J., Sheng, C., Xu, J. & Wu, L. (2017). A review of wetland remote sensing. *Sensors (Switzerland)*, 17(4), 1-36. <https://doi.org/10.3390/s17040777>.
- Harris Geospatial Solutions (2017). *Atmospheric Correction*. Recuperado de <https://www.harrisgeospatial.com/docs/AtmosphericCorrection.html>.
- Lee, K. H. & Lunetta, R. S. (1995). Wetland detection methods. In J. G. Lyon & J. McCarthy (Eds.), *Wetland and environmental applications of GIS* (1st ed.). Boca Raton, CA: CRC Press.
- Smith, R. B. (2012). *Introduction to Hyperspectral Imaging*. Recuperado de <http://www.microimages.com/documentation/Tutorials/hyrspec.pdf>.
- Universidad Católica de Manizales (2017), *Equipos de espectrometría*. Recuperado de <http://www.ucm.edu.co/programa/maestria-en-teledeccion/recursos-2/>
- Yuan, L. & Zhang, L. Q. (2006). Identification of the spectral characteristics of a submerged plant *Vallisneria spiralis*. *Acta Ecologica Sinica*, 26(4), 1005-1011. [https://doi.org/10.1016/S1872-2032\(06\)60019-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(06)60019-X).
- Zomer, R. J., Trabucco, A. & Ustin, S. L. (2009). Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing. *Journal of Environmental Management*, 90(7), 2170-2177. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.028>.





Definición de zonas de manejo específico con base en propiedades físicas y químicas del suelo y variables morfométricas del cultivo

Definition of specific management areas based on soil physical and chemical properties and morphometric variables of the crop

Deyanira Lobo L.¹, Juan Carlos Rey B.², Ana P. Carpio J.³,

Emileydi Namias H.⁴; Ángel Valera⁵

Resumen

Con el propósito de delimitar zonas de manejo específico con base en propiedades físicas y químicas de un suelo lacustrino y variables morfométricas del cultivo de banano (*Musa AAA*), se llevó a cabo un estudio en una finca bananera en el estado Aragua, Venezuela, en ocho lotes productivos, correspondientes a 43 ha. Se aplicó un muestreo sistemático con cuadrículas de 150 x 150 m y 70 puntos de muestreo, en los cuales se determinaron: porcentajes de arena, limo, arcilla y fragmentos gruesos; pH; conductividad eléctrica; carbono orgánico; fósforo, calcio, potasio, sodio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre disponibles; carbonato de calcio, porosidad total, macroporos, microporos, densidad aparente, conductividad hidráulica saturada y módulo de ruptura. En las plantas, se determinó: la altura, la circunferencia del pseudotallo a un metro de altura, el número de manos por racimo y el peso fresco de raíces totales, funcionales y no funcionales. Se aplicó estadística descriptiva, multivariada y geoestadística para determinar la variabilidad espacial de las variables evaluadas, así como técnicas de inteligencia artificial correspondientes al modelo neuroborroso o de red de agrupamiento borroso de Kohonen (FKCN). Este permitió agrupar los suelos en cinco zonas de manejo específico según sus propiedades físicas y cuatro zonas según sus propiedades químicas. El mayor vigor y la menor producción de raíces totales se obtuvieron en los suelos que presentaron proporciones similares de fracciones granulométricas, los menores contenidos de fósforo y calcio, y los mayores niveles de potasio, magnesio y hierro disponibles. El vigor más bajo y la mayor producción de raíces totales se evidenciaron en los suelos más pesados y en aquellos con predominio de fragmentos gruesos.

Palabras clave: variabilidad espacial, banano Cavendish, suelo lacustrino.

1. Doctor en Ciencia del Suelo. Universidad Central de Venezuela. Correo: lobo.deyanira@gmail.com.

2. MSc en Ciencias del Suelo. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Universidad Central de Venezuela. Correo: jcreyb@hotmail.com.

3. Ing. Agrónomo. Universidad Central de Venezuela. Correo: ana_patricia_19@hotmail.com.

4. Ing. Agrónomo. Universidad Central de Venezuela. Correo: emi26901@gmail.com.

5. Doctor en Ciencia del Suelo. Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos. Correo: valeraangel2@gmail.com.





Abstract

With the purpose of delimiting specific management areas based on physical and chemical properties of a lacustrine soil and morphometric variables of the banana crop (Musa AAA), a study was carried out in a banana plantation in Aragua state, Venezuela, in eight production lots corresponding to 43 ha. A systematic sampling with 150 x 150 m grids was applied, resulting in 70 sampling points, in which were determined: percentages of sand, silt, clay and coarse fragments; pH; electric conductivity; organic carbon; phosphorus, calcium, potassium, sodium, magnesium, iron, manganese, zinc and copper available; calcium carbonate, total porosity, macropores, micropores, bulk density, saturated hydraulic conductivity and rupture modulus. In the plants were determined: stem circumference at 1 m, height, number of hands per bunch, fresh weight of total roots, functional and nonfunctional roots. Descriptive, multivariate statistics and geostatistical were applied to determine the spatial variability of the variables, as well as the neuro-fuzzy model FKCN. This allowed grouping the soils into five specific management zones for physical properties and four zones for chemical properties. The highest vigor and the lowest production of total roots were obtained in soils with similar proportions of particles size fractions, and with the lowest available phosphorus and calcium contents, but with the highest levels of available potassium, magnesium and iron. The lowest vigor and the highest total root production were evidenced in the heaviest soils and in those with a predominance of coarse fragments.

Keywords: *spatial variability, Cavendish banana, lacustrine soil.*





Introducción

El comercio internacional de banano se basa en la exportación de frutas de clones del subgrupo Cavendish, que sustituyeron al clon Gros Michel por mostrar resistencia a la enfermedad denominada “mal de Panamá” y una mayor productividad, que alcanza las 60 t/ha, lo cual representa el 47% de la producción mundial de banano. América Latina constituye la primera región en producción de bananos de este grupo, donde se destacan Ecuador, Colombia y Costa Rica como principales países productores y exportadores (Food Agriculture Organization [FAO], 2004).

En Venezuela, la producción de frutales se encuentra en el tercer lugar dentro del sector agrícola vegetal, luego de la producción de caña de azúcar y cereales. El banano representa a uno de los primeros cuatro cultivos con mejores índices de producción por superficie cosechada, volumen y valor (Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios [Fedeaagro], 2013).

El detrimento en la producción del cultivo en Venezuela puede atribuirse, de manera general, a factores económicos, problemas sanitarios en las plantaciones y eventos climáticos (Martínez, 2009). Al mismo tiempo, la International Network for the Improvement of Banana and Plantain (Inibap, 2004) menciona que se debe al deterioro de la calidad y salud de los suelos bananeros por tratarse de sistemas intensivos de producción. Con relación a ello, Gauggel, Sierra y Arévalo (2003), Draye, Lecompte y Pagès (2003) y Serrano (2003) coinciden en señalar como fundamental la evaluación del estado de los factores físicos, químicos y biológicos del suelo, ya que son los responsables de determinar el desempeño de las raíces y la productividad de la planta de banano.

Para estudiar la relación espacial existente entre las variables *productividad de la planta*, *salud radical* y *propiedades del suelo*, se requiere de técnicas que permitan organizar los datos, para así determinar el comportamiento de atributos del suelo y de la productividad del cultivo (Jaramillo, Anaya, Restrepo, González & Álvarez, 2011). En este sentido, Castañeda (2011) recomienda la aplicación de los criterios de la agricultura de precisión, por ser una herramienta de gran utilidad en el manejo de todos los factores que afectan los rendimientos y el ambiente en la producción agrícola.

El propósito del presente trabajo fue delimitar zonas de manejo específico con base en propiedades físicas y químicas de un suelo de la planicie lacustrina de la cuenca del lago de Valencia, Venezuela, y variables morfométricas del cultivo de banano (*Musa* AAA).

Desarrollo teórico y metodológico

Área de estudio

La investigación se realizó en la Finca Agropecuaria Punta Larga C.A., ubicada en la depresión del lago de Valencia, entre los meridianos 67° 30' y 67° 34' longitud oeste y los paralelos 10° 12' y 10° 17' latitud norte (figura 1), con una altitud cercana a los 436 m.s.n.m. El principal cultivo de producción es el banano (Cavendish, cv Pineo Gigante), para lo cual se destinan 175 ha aproximadamente, las cuales ocupan parte de la terraza lacustrina de cuarto nivel del Cuaternario, proveniente de las deposiciones adyacentes al lago de Valencia, donde predominan suelos recientes (entisoles y molisoles), que en





general son suelos con buena fertilidad y texturas variables, desde arcillosa hasta franco limosa. La densidad aparente de los suelo suele ser baja, en un intervalo de 0,5-0,9 Mg.m⁻³ (Viloria, 1984).

La zona presenta un clima estacional definido por la clasificación de Köppen como tropical lluvioso, con periodos de precipitación diferenciados, correspondientes a una estación seca de noviembre a abril, y otra lluviosa de mayo a octubre. Los valores medios de las variables meteorológicas se presentan en la tabla 1.



Figura 1. Ubicación de la Finca Agropecuaria Punta Larga y el área de muestreo
Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Promedios de variables climáticas en la Estación Santa Cruz Edafológica, 1966-1999

Estación Santa Cruz Edafológica	Temperatura promedio (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Evaporación media anual (mm)	Humedad relativa (%)	Precipitación media anual (mm)
	26,1	31,8	20,5	2369,2	69,8	988,9

Fuente: Base de datos de las estaciones climáticas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Diseño del muestreo

La evaluación se llevó a cabo en 43 ha correspondientes al 23,88% del área total destinada para la producción de banano (Cavendish, cv Pineo Gigante), cuya clase de suelo es Mollic Ustifluvents, francosa fina carbonática, isohipertérmica. La zona está provista de ocho lotes productivos delimitados por “cable guías” dispuestos a lo largo de la parcela, así como de un canal de riego (figura 2).

Se implementó un muestreo sistemático suelo-cultivo, para lo cual se establecieron sitios de muestreo cada cierta distancia siguiendo un diseño regular establecido. La superficie se muestreó por medio de una cuadrícula, con celdas de 150 x 150 m que cubren el área establecida y el espacio exterior adyacente al perímetro, con el fin de predecir la





magnitud de una variable en un punto de interés no muestreado, tal como mencionan Schabenberger y Gotway (2005). De esta manera se obtuvieron un total de 70 puntos de muestreo georreferenciados mediante un GPS GARMIN 60x, datum REGVEN, proyección WGS84, uso 19N (figura 2).

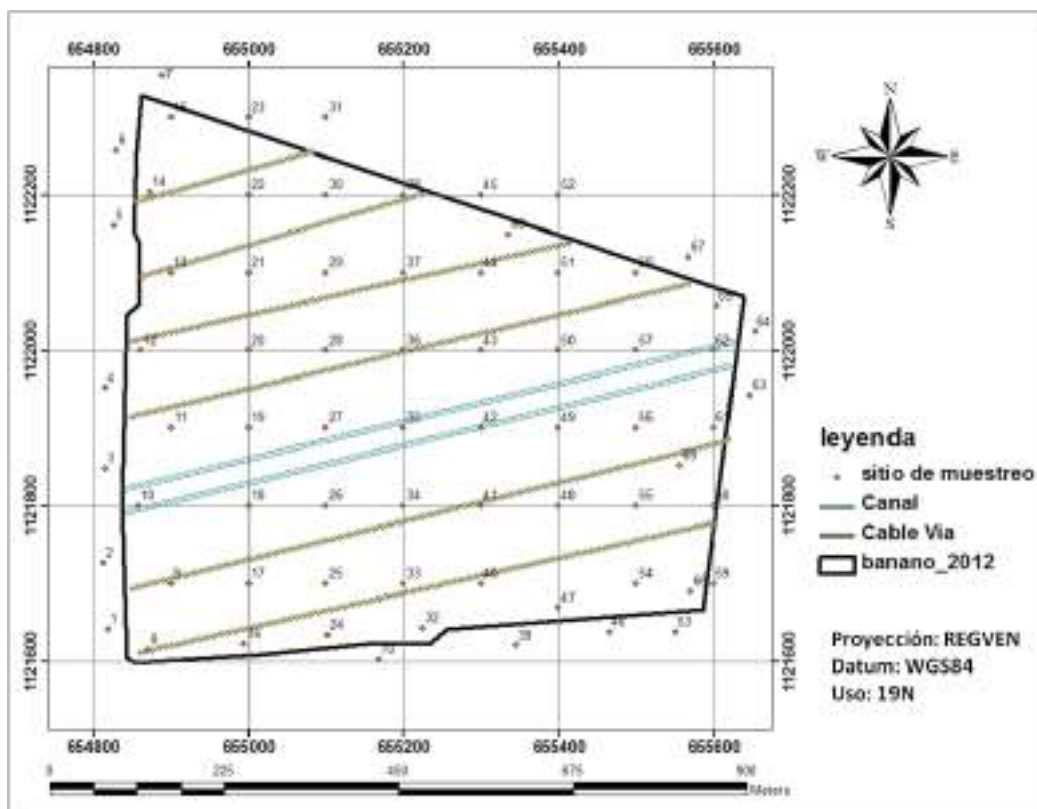


Figura 2. Distribución de los puntos de muestreo en la parcela de banano bajo estudio

Fuente: elaboración propia.

Muestreo del suelo y determinación de propiedades del suelo

Para la evaluación de las propiedades del suelo, se tomó en cada punto una muestra disturbada (0-20 cm) con un barreno. Asimismo, se tomaron muestras no disturbadas (0-20 cm) en 50 de los sitios de muestreo, a razón de tres repeticiones por sitio, en cuyo caso se utilizó un equipo de toma de muestras tipo Uhland.

Variables del suelo evaluadas en muestras disturbadas

- Distribución del tamaño de partículas (DTP) por el método del hidrómetro (Gee & Or, 2002) para obtener los contenidos de arena, limo y arcilla y la clasificación textural del suelo en cada punto de muestreo.
- pH: se determinó en una suspensión suelo:agua 1:1 mediante un potenciómetro y electrodos de vidrio (Gilabert de Brito, López de Rojas & Pérez de Roberti, 1990).
- Conductividad eléctrica (CE): con un conductímetro en una suspensión suelo:agua 1:1. Los valores se expresan en dS/m (Gilabert et al., 1990).
- Carbono orgánico (% CO) por el método de Walkley-Black modificado (Heanes, 1984).





- Fósforo (mg/kg) por el método de Olsen (Olsen, Cole, Watanabe & Dean, 1954).
- Calcio, potasio, sodio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre disponibles (mg/kg) con la solución extractora Mehlich 1 (Mehlich, 1978).
- Carbonato de calcio equivalente: el método utilizado se basa en la reacción de descomposición de los carbonatos no solubles por medio de un ácido fuerte; luego, mediante una base fuerte estandarizada, se determinó la cantidad de ácido que quedó sin reaccionar después de la descomposición (Gilabert et al., 1990).
- Nitrógeno total, por el método semi-micro Kjeldahl (Gilabert et al., 1990).

Variables evaluadas en muestras no disturbadas

- Densidad aparente (Da): por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986), expresando los valores en Mg.m^{-3} .
- Porosidad total (EPT) y distribución de tamaño de poros: por el método de Danielson y Sutherland (1986), cuyos valores se expresaron en porcentajes.
- Módulo de ruptura: por el método de Richards (1953), descrito en Pla (1983), enuncia los valores en kPa.
- Conductividad hidráulica saturada: se determinó utilizando un permeámetro de carga constante (Reynolds et al., 2002), expresando los valores en mm/h.

Muestreo de las plantas de banano y determinaciones realizadas

Para determinar el estado de las variables morfométricas aéreas y radicales de las plantas, se realizó un muestreo a razón de ocho (8) plantas/punto que fueron seleccionadas entorno a un radio de 50 m para evitar la medición de plantas pertenecientes a otro punto de muestreo.

Variables evaluadas en la parte aérea del cultivo de banano

Con la finalidad de evaluar los componentes morfométricos aéreos del cultivo, se seleccionaron plantas que estaban en etapa de formación y maduración del fruto, representativas de la productividad del sitio, con racimos de 14 a 16 semanas, y se determinaron los siguientes parámetros:

- Circunferencia de la planta madre (CM): se midió el perímetro del pseudotallo de la planta madre a un metro de altura, partiendo de la superficie del suelo.
- Número de manos por racimo (NM): en el racimo de la planta madre.
- Altura de la planta madre (AM): desde la superficie del suelo hasta el punto de inserción en el pseudotallo de la hoja recién expandida en la planta madre, al momento de la formación del fruto.
- Número de hojas por planta (NH): se contabilizaron las hojas funcionales en la planta madre, las cuales se caracterizaron por no presentar daños por senescencia o enfermedad.





Se estimó el grado de vigor de la plantación mediante la clasificación de los componentes morfométricos aéreos correspondientes a la altura y la circunferencia de la planta madre (tabla 2), de acuerdo a los criterios de Rosales, Pocasangre, Trejos, Serrano y Peña (2008).

Tabla 2. Criterios para la obtención del grado de vigor o frondosidad.

Parámetro	Frondosidad o vigor		
	Baja	Media	Alta
Número de manos por racimo	< 6	6 - 8	> 8
Circunferencia del pseudotallo (cm)	< 80	80 - 90	> 90
Altura (m)	< 2	2 - 2,5	> 2,5

Fuente: Rosales et al. (2008).

Variables evaluadas en la parte radical del cultivo de banano

Para la evaluación de la parte radical de las plantas, se utilizó el método de muestreo de raíces con palín, tomando un cubo de 20 x 20 x 20 cm a una distancia de unos 20-25 cm del hijo de sucesión de la planta florecida. En este volumen de suelo se determinaron las siguientes variables:

- Peso de raíces totales (RT): peso fresco (g) de toda la masa radical contenida en el volumen de suelo extraído.
- Peso de raíces funcionales (RF): se pesaron las raíces funcionales (g) encontradas en la muestra, caracterizadas por ser blancas y cremosas.
- Peso de raíces no funcionales (RNF): se pesaron las raíces no funcionales (g), caracterizadas por presentar colores pardos u oscuros, reflejo de tejido necrosado.
- Porcentaje de raíces funcionales y no funcionales (%): se obtuvo relacionando el peso de las raíces funcionales (RF) y no funcionales (RNF) con respecto al peso total (RT), mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$\%RF = \frac{RF(g) * 100}{RT(g)} \quad (1)$$

$$\%RNF = \frac{RNF(g) * 100}{RT(g)} \quad (2)$$





Determinación de la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo y variables morfométricas del banano

Con el propósito de caracterizar el comportamiento de las propiedades del suelo, se organizaron los valores obtenidos del procesamiento de las muestras disturbadas y no disturbadas, considerando para estas últimas el valor resultante de promediar las tres repeticiones de cada uno de los parámetros evaluados. Respecto a las variables morfométricas, se consideró el valor promedio de las ocho (8) observaciones registradas en cada uno de los parámetros aéreos y radicales estudiados en las plantas.

Una vez construida la base de datos, se procedió a realizar un análisis exploratorio para obtener las medidas de tendencia central y de desviación, como: media, desviación estándar, coeficiente de variación, valores máximos y mínimos, asimetría y kurtosis. Según el comportamiento general de las variables, en algunos casos se evidenció que estaban afectados por la presencia de datos anómalos, los cuales fueron identificados por medio de la metodología descrita por Tukey (1977), que implica el cálculo de las cercas internas y externas.

Para determinar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo y los parámetros morfométricos del cultivo, se procedió a iniciar el análisis geoestadístico, para lo cual se calcularon los semivariogramas experimentales, los cuales fueron ajustados a modelos teóricos, caracterizando así la estructura de variación a través del uso de sus parámetros (rango de dependencia espacial, umbral o sill y varianza nugget o aleatoria) en la función de kriging ordinario, obteniendo así los mapas que ilustran la distribución espacial de las variables (Gallardo, 2006). Para disminuir la posibilidad de sobre o subestimación en los mapas generados, por el hecho de haber usado las variables originales sin sufrir efectos de transformación, se consideró la normalización de los mapas ráster a partir del re-escalado de los datos para así llevarlos al mismo rango (V_{max} - V_{min}) de los datos originales, a través de la aplicación de la ecuación 3 (Durand, 2009):

$$V_n = Q_{min} + \frac{(V_o - V_{min}) * (Q_{max} - Q_{min})}{(V_{max} - V_{min})} \quad (3)$$

Donde:

V_n = Valor normalizado del nuevo mapa ráster

V_o = Mapa ráster con los valores originales

V_{min} y V_{max} = Valores máximos y mínimos del mapa ráster

Q_{max} y Q_{min} = Valores máximos y mínimos de la data (nuevo rango)

Se aplicó, a su vez, un estadístico de bondad de ajuste para la validación de los estimados de kriging normalizados y sin normalizar, representado por la raíz media estandarizada del cuadrado del error de predicción (RMSSPE) cuyo valor debe ser cercano a 1. Para su cálculo se utilizó la ecuación 4:

$$RMSSPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{\sum (Z(x_i) - \hat{Z}(x_i))^2}{\hat{\sigma}^2(x_i)} \right]} \quad (4)$$

Donde: $Z(x_i)$ representa el valor observado, $\hat{Z}(x_i)$ el valor predicho y $\hat{\sigma}^2(x_i)$ la predicción para la desviación estándar en la localización i .





Relación entre las características del suelo y las variables morfométricas del banano

Una vez conocida la distribución de cada variable en particular, se procedió a determinar la asociación entre las propiedades del suelo y la expresión productiva de las plantas a través de la construcción de matrices de correlación de Pearson. Con el propósito de facilitar el manejo de la información generada, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), a partir del cual se obtuvo un número reducido de nuevas variables no correlacionadas (componentes) que explican la mayor parte de la variabilidad (ecuación 5); estas son obtenidas por orden decreciente de importancia, por medio de la combinación lineal de las variables originales y los vectores asociados a los componentes (pesos) (Pla, 1986).

$$Y_j = v_{1j}X_1 + v_{2j}X_2 + \dots + v_{pj}X_p \quad (5)$$

Donde: Y_j = componente principal j ; v_{pj} = coeficiente de la variable p en el componente j (eigenvector); y X_p = variable p .

De los componentes principales (CP) generados, se seleccionaran los primeros, cuya suma de proporción de varianza explicada fue satisfactoria para el análisis (Pla, 1986). Para interpretar el significado de cada componente, se implementó el criterio de selección (CS) propuesto por Afifi y Clark (1984), calculado según la ecuación 6, el cual permitió identificar la asociación entre los CP y las variables originales.

$$CS = \frac{0.5}{\sqrt{VarCP}} \quad (6)$$

Donde \sqrt{VarCP} representa al valor propio del componente principal.

Como resultado se obtiene la variable asociada al componente cuando el coeficiente de correlación es mayor al CS. Para completar el análisis, se construyeron gráficos de dispersión entre los componentes principales de mayor capacidad explicativa de los datos, con el fin de realizar interpretaciones respecto al comportamiento entre las variables y la distribución de las observaciones para determinar posibles grupos de individuos con características diferenciales (Demey, Adams & Freitas, 1994).

Definición de zonas de manejo específico con base en variables del suelo y parámetros morfométricos del cultivo

Para obtener una clasificación del área bajo estudio con base en los fenómenos que ocurren de forma paralela en el continuo del suelo y que están asociados a las variables analizadas, se implementaron los métodos de redes neuronales artificiales (RNA) y lógica





borrosa a través de un sistema clasificador de terreno por fuzzy Kohonen (FKCN) (Viloria, Viloria, Núñez & Pineda, 2009).

De esta forma, se cargaron en el programa cada una de las variables de interés y esto dio como resultado una matriz de píxeles de expresión borrosa, representados por un vector de pertenencia. Inicialmente, se creó una topología por lote, considerando la aplicación de un rango de exponente borroso (Φ) comprendido entre 1,1 y 1,8, con incrementos de 0,1 y un número de clases de 4 a 12 con un máximo de 20 interacciones. La información resultante permitió generar un gráfico para evaluar la variación de la eficiencia de borrosidad (FPI, por *fuzziness performance index*) a partir de las diferentes combinaciones de (Φ) y número de clases, considerando que cuando el FPI es igual uno, la borrosidad lograda es la máxima y no hay distinción entre clases, mientras que si se obtiene un valor de FPI igual a cero indica que no hay borrosidad en los datos y las clases son discretas. En ambos casos los resultados serán descartados como posibles modelos, y el más representativo para la delimitación de las áreas homogéneas de manejo será aquel cuyos valores de FPI sean próximos a 0,5. Finalmente se creó una topología específica, la cual genera un archivo *.asc de un mapa de clases suelo-cultivo en formato ASCII, el cual fue importado desde el programa ArcGIS para ser visualizado como un mapa ráster cuyas celdas presentan una clasificación discreta, donde cada una tiene asignada la clase con el valor más alto de función de pertenencia.

A partir del concepto central de las variables para cada una de las clases, se pudo predecir el comportamiento del suelo en las diferentes agrupaciones. En tal sentido, se hizo especial énfasis en aquellas variables de orden físico y *químico* que aportaron mayor diferenciación entre clases, tanto por el efecto entre ellas como por su influencia en la expresión de los componentes morfométricos aéreos y radicales de las plantas.

Resultados

Los resultados del análisis geoestadístico realizado indicaron que las propiedades físicas del suelo evidencian, de forma general, variaciones orientadas en sentido este-oeste, de forma concéntrica en torno al lago de Valencia, que está ubicado en la parte oeste de la parcela (figura 3). Se puede observar cómo en la mayor parte del área se concentran proporciones medias de las fracciones granulométricas ($\approx 33\%$ c/u), y se nota además que, en la zona noreste de la parcela, se presentan las mayores proporciones tanto de arena como de fragmentos gruesos, lo cual puede deberse a que son deposiciones del lago que han estado expuestas durante mayor tiempo al proceso de erosión, donde el desplazamiento de las partículas más livianas, como la arcilla y el limo, a las zonas más cercanas al lago ha hecho que predomine in situ el material lacustrino (caracolillo). Los suelos con mayor porosidad total se ubican en torno a la zona oeste de la parcela, mientras que los poros con $r < 15\mu\text{m}$, al ser los tipos de poros predominantes, parecen marcar una mayor influencia sobre el patrón de distribución de la porosidad total (figura 4).

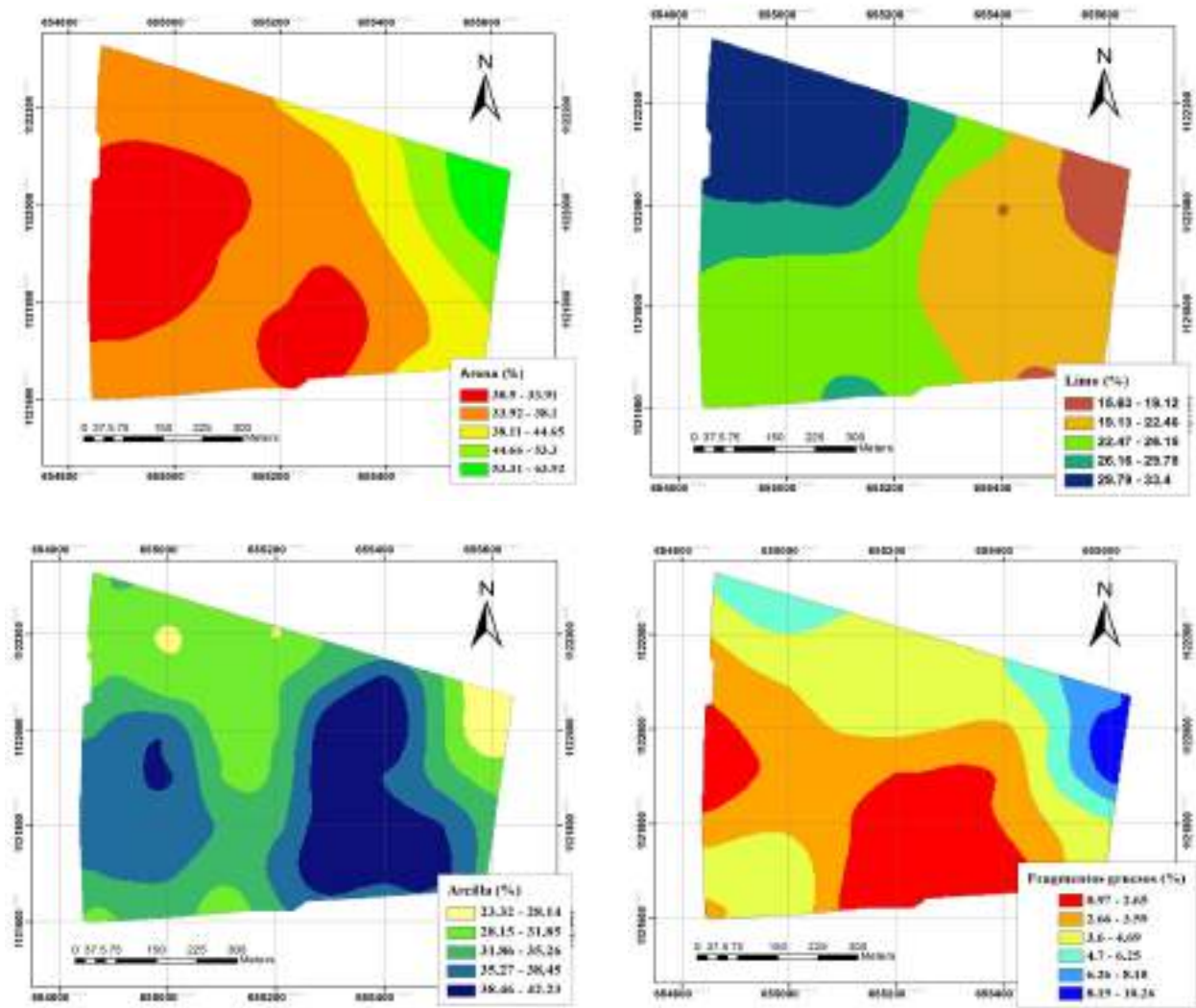


Figura 3. Distribución espacial de la proporción (%) de arena, limo, arcilla y fragmentos gruesos
Fuente: elaboración propia.

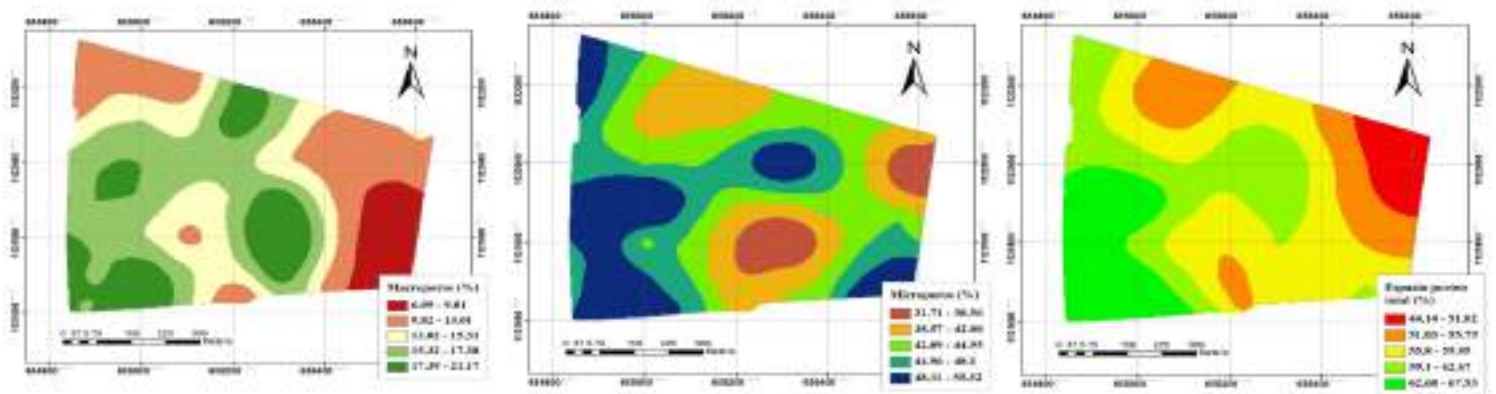


Figura 4. Distribución espacial de variables: macroporos, microporos y porosidad total
Fuente: elaboración propia.





En la zona este es donde se presentan los valores más altos de densidad aparente y módulo de ruptura, así como los menores valores de conductividad saturada. Esta relación era de esperarse, ya que donde ocurren valores mayores de densidad aparente los suelos expresan una mayor cohesión en seco y mayores limitaciones para el flujo de agua (figura 5).

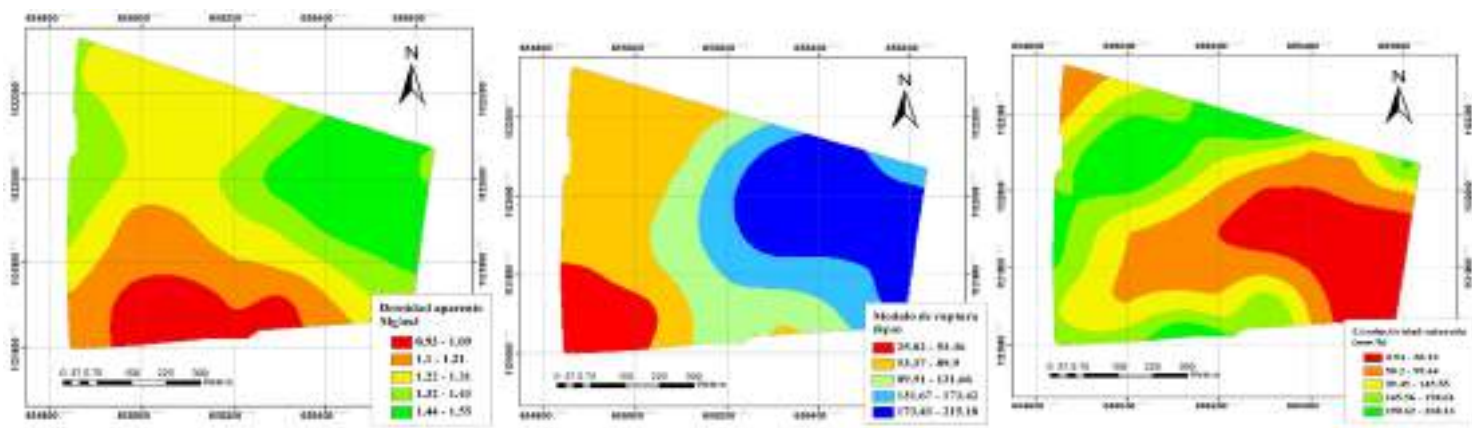


Figura 5. Distribución espacial de variables: densidad aparente, módulo de ruptura y conductividad hidráulica saturada
Fuente: elaboración propia.

Se puede apreciar que el patrón de la distribución espacial del contenido de potasio y fósforo es similar al patrón de partículas granulométricas y presenta la mayor variación en sentido oeste-este. La distribución del contenido de nitrógeno total presentó un patrón más intrincado (figura 6).

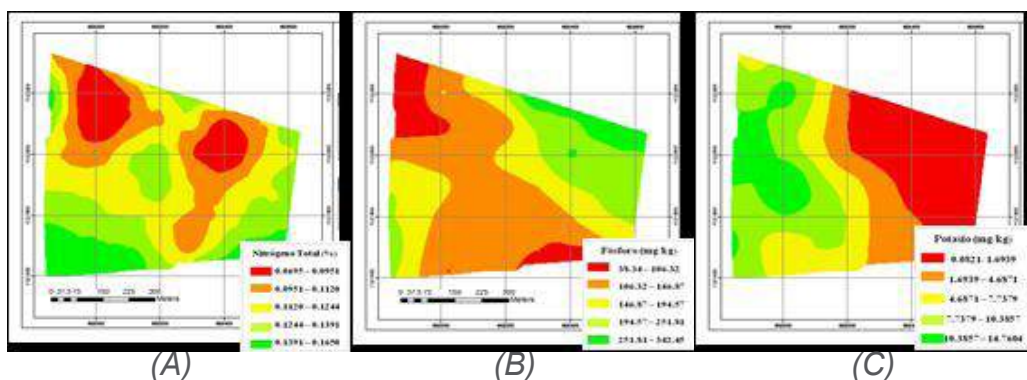


Figura 6. Mapa de distribución espacial de (A) nitrógeno total, (B) fósforo y (C) potasio
Fuente: elaboración propia.

Los mayores valores de pH y de carbonato de calcio se encontraron en el centro del terreno. Se aprecia una mayor variación en el sentido oeste-este por el patrón de formación de las terrazas lacustrinas concéntricas al lago de Valencia (figura 7). Por su parte, la conductividad eléctrica y la materia orgánica mostraron un patrón de variación más intrincado, con cambios a cortas distancias.

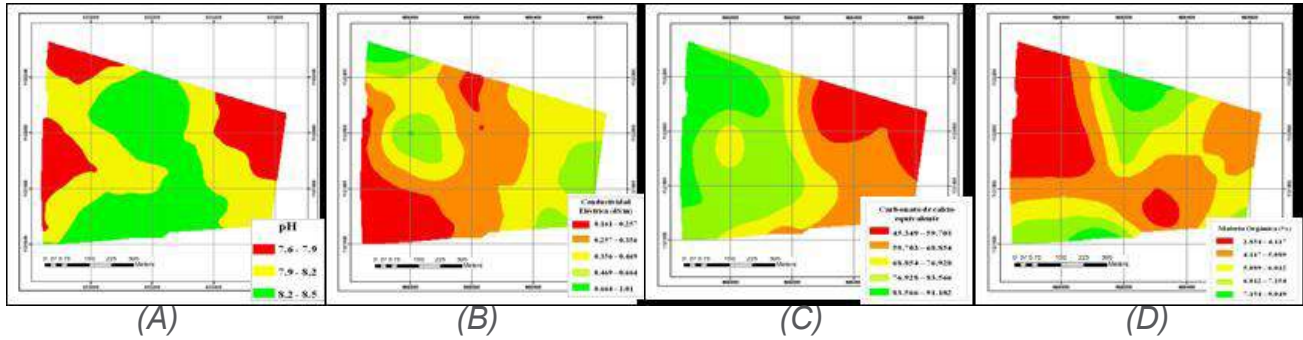


Figura 7. Mapa de distribución espacial: (A) pH, (B) conductividad eléctrica, (C) carbonato de calcio y (D) materia orgánica

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a otros nutrientes disponibles (figura 8), el patrón de distribución espacial resultó similar en sentido oeste-este, donde el cobre va aumentando en ese mismo sentido mientras que el hierro, el magnesio y el manganeso van disminuyendo. Los contenidos de sodio y zinc presentaron un patrón de variación más intrincado, con cambios abruptos a cortas distancias.

Con relación a las variables morfométricas aéreas del cultivo, los mayores valores, tanto de la circunferencia del pseudotallo como de la altura de la planta madre, se presentan en la zona noroeste de la parcela, lo cual coincide con los índices *módulo de ruptura*, *densidad aparente* y *conductividad saturada del suelo*. Las plantas de menor altura y número de manos se ubican en torno a la parte media de la parcela. Se evidencia, además, un menor número de hojas en plantas de mejor expresión con relación a los demás componentes aéreos y viceversa. Así mismo, la distribución del número de manos presentó un patrón de distribución particular en comparación al resto de las variables y, por lo general, se encuentra un mayor número de manos en plantas cercanas al perímetro de la parcela (figura 9).

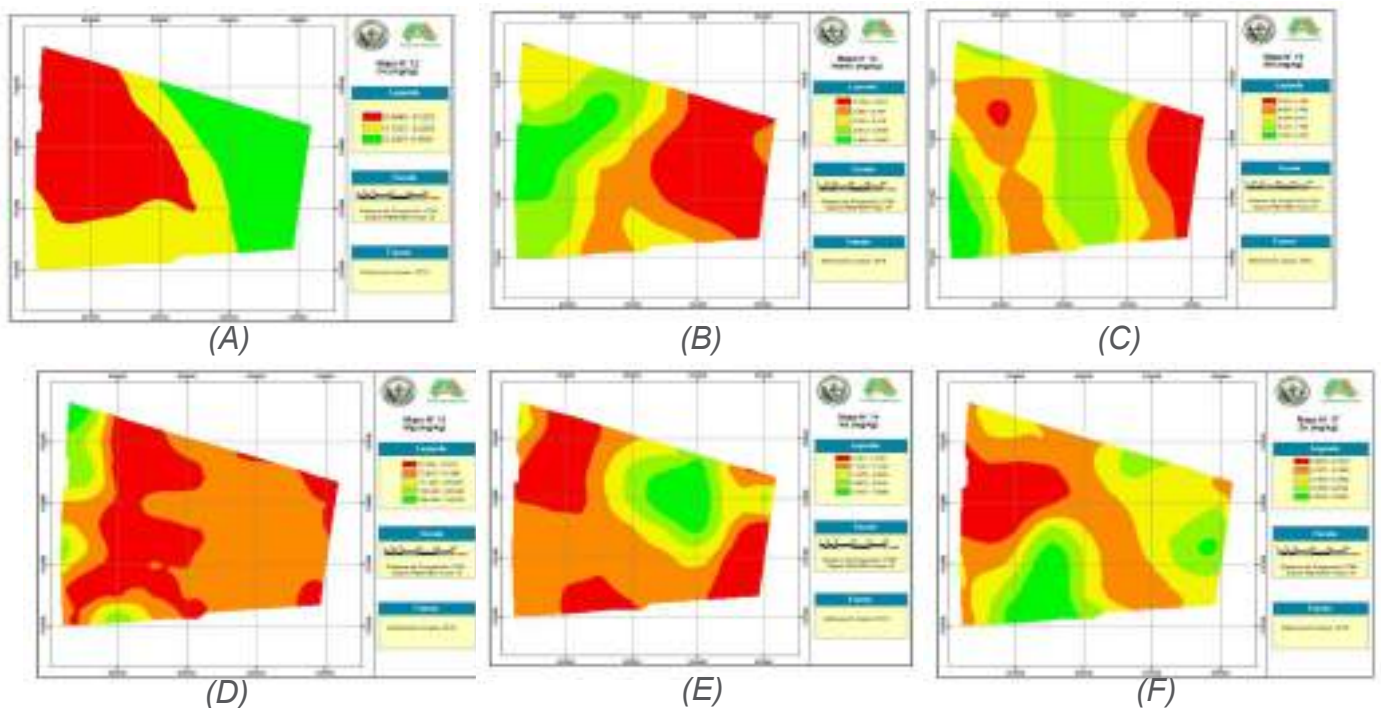


Figura 8. Mapa de distribución espacial: (A) cobre, (B) hierro, (C) manganeso, (D) magnesio, (E) sodio y (F) zinc

Fuente: elaboración propia.



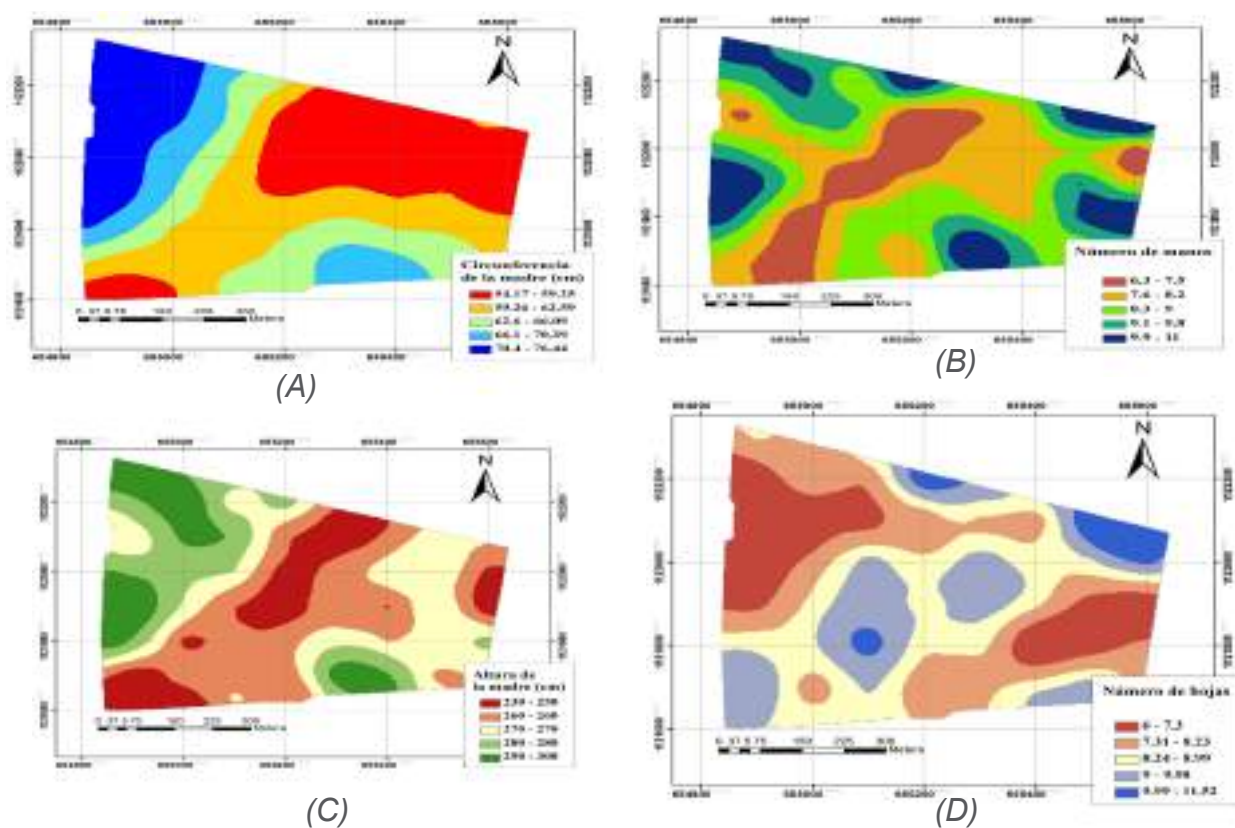


Figura 9. Distribución espacial de las variables morfométricas aéreas de las plantas de banano: (A) circunferencia de la madre, (B) número de manos, (C) altura de la madre y (D) número de hojas.

Fuente: elaboración propia.

El vigor obtenido por las plantas es variable conforme a los criterios utilizados. Al considerar la circunferencia de la madre, la clasificación del vigor de las plantas resultó baja en la totalidad del área de interés, mientras que, al tomarse como criterio el número de manos, se evidencia diferenciación. Por lo general, se encontró un vigor alto en plantas cercanas al perímetro y un vigor medio en la zona central de la parcela (figura 10).

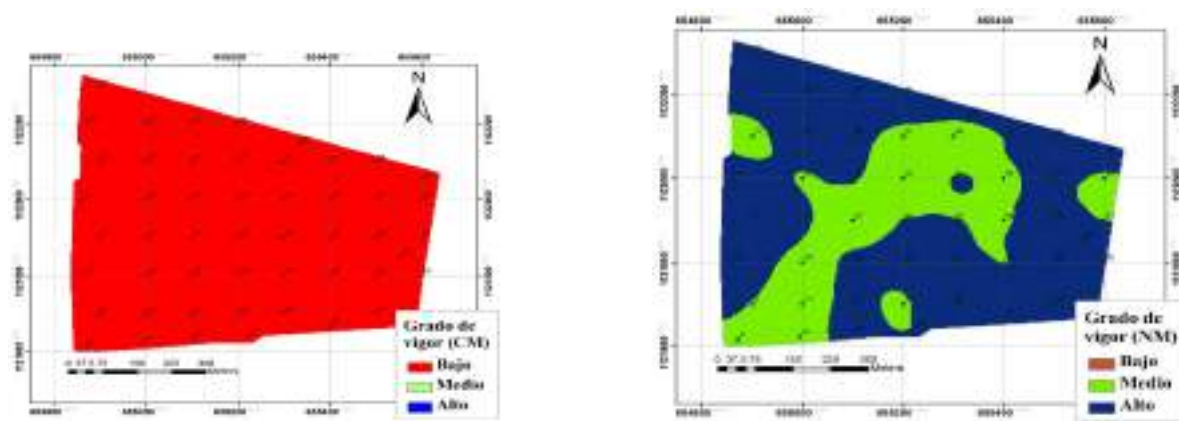


Figura 10. Distribución espacial del grado de vigor o frondosidad de las plantas en función de (A) la circunferencia de la madre y (B) el número de manos

Fuente: elaboración propia.





La cantidad de raíces emitidas en las plantas de banano tiende a disminuir claramente en sentido este-oeste y se mantiene una asociación espacial entre las variables *raíces totales*, *funcionales* y *no funcionales*, cuyos valores se expresan en gramos (g), mientras que la proporción (%) de raíces funcionales y no funcionales dibujan un patrón de distribución particular (figura 11).

Una vez realizado el análisis de componentes principales (ACP) y seleccionadas las variables de mayor contribución, se procedió a la obtención del número de clases para la delimitación de las zonas de manejo específico, tanto para las variables físicas del suelo como para las variables químicas y su relación con el comportamiento del cultivo. Para ello se evaluó inicialmente el comportamiento del índice de borrosidad (FPI) logrado en las diferentes combinaciones entre los valores de exponente borroso (Φ) y el número de clases. Se obtuvo un valor intermedio del FPI (cercano a 0,5) en la curva con coeficiente borroso de 1,3, en la cual se seleccionó, como número óptimo de clases, el valor del punto de inflexión donde ocurre la minimización del FPI, caracterizado por presentar clases menos borrosas internamente (Odeh, McBratney & Chittleborough, 1992). El resultado final, a partir de las 16 variables físicas del suelo y morfométricas del cultivo, fue un número óptimo de cinco clases, las cuales definieron las áreas homogéneas de manejo en las 43 ha que conforman la parcela de banano (figura 12), mientras que para las variables químicas y morfométricas del cultivo se obtuvo un número óptimo de cuatro clases.

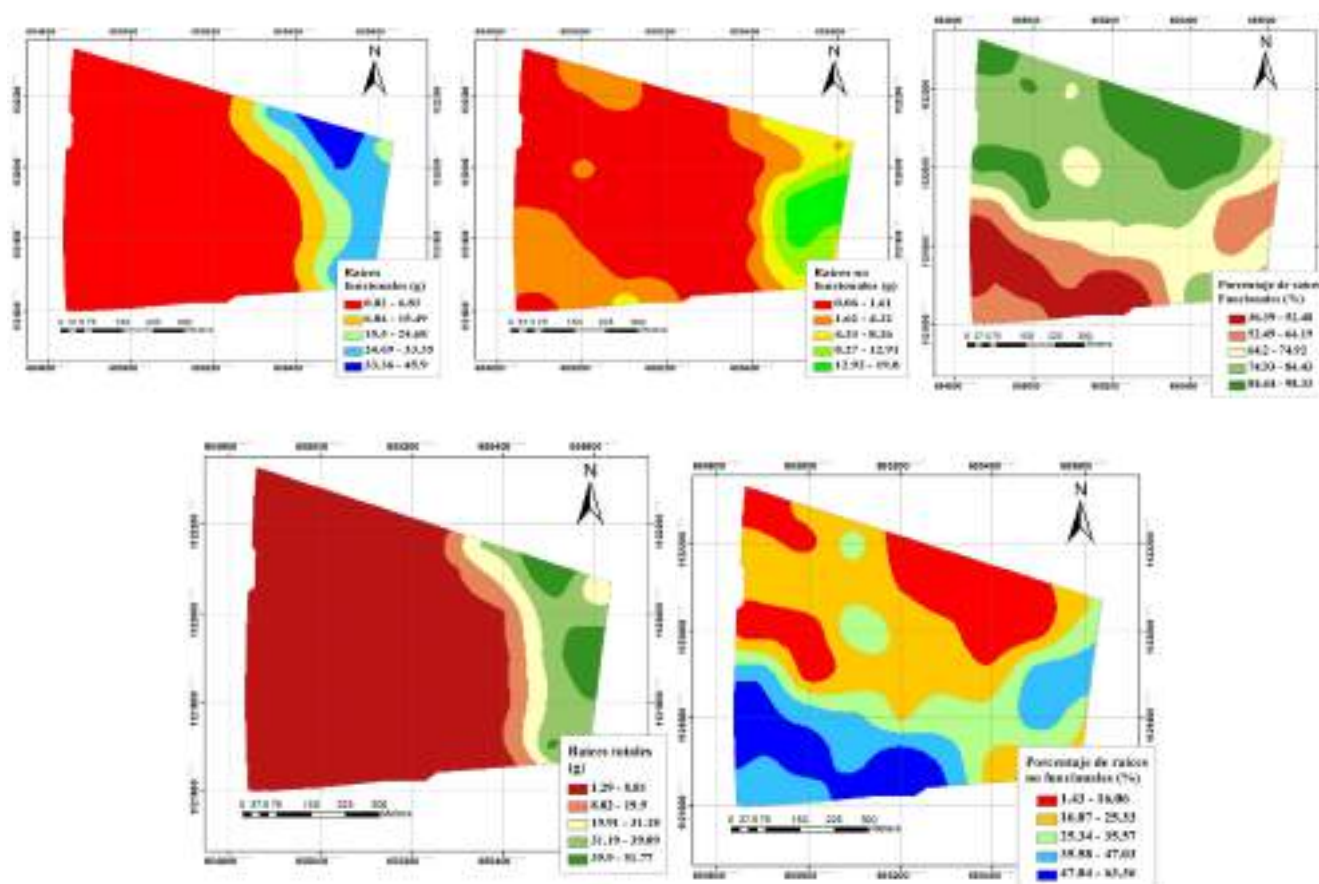


Figura 11. Distribución espacial de los parámetros radicales evaluados en las plantas de banano
Fuente: elaboración propia.



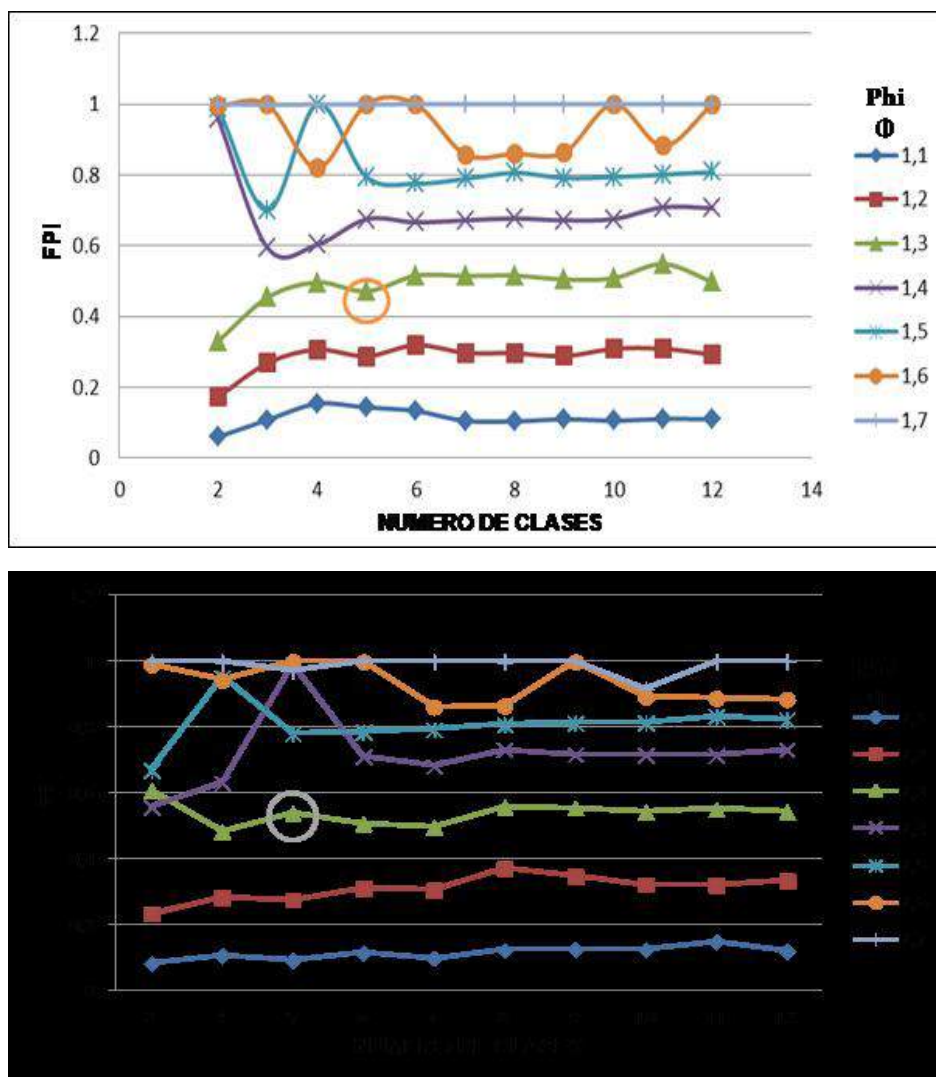


Figura 12. Variación del índice de borrosidad (FPI) en función del número de clases y el exponente borroso Φ : (A) variables físicas y (B) variables químicas
Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo, de esta forma, un mapa ráster en formato *asc que, desplegado en el visor de ArcGIS, muestra de forma discreta la representación de las cinco clases suelo-cultivo para las variables físicas del suelo, orientadas en sentido este-oeste de forma concéntrica en torno al lago de Valencia, lo cual, de manera general, coincide con el patrón de distribución espacial de las variables físicas del suelo y morfométricas del cultivo. Los lotes, al encontrarse dispuestos de forma perpendicular a las clases obtenidas, muestran una gran variabilidad en las variables morfométricas de las plantas y físicas del suelo (figura 13). Para las variables químicas se encontró que el patrón de variabilidad va en sentido oeste-este, paralelo al lago de Valencia, en el mismo sentido en el que ocurre la diferenciación de las terrazas, que presentan una distribución concéntrica alrededor de todo el lago.

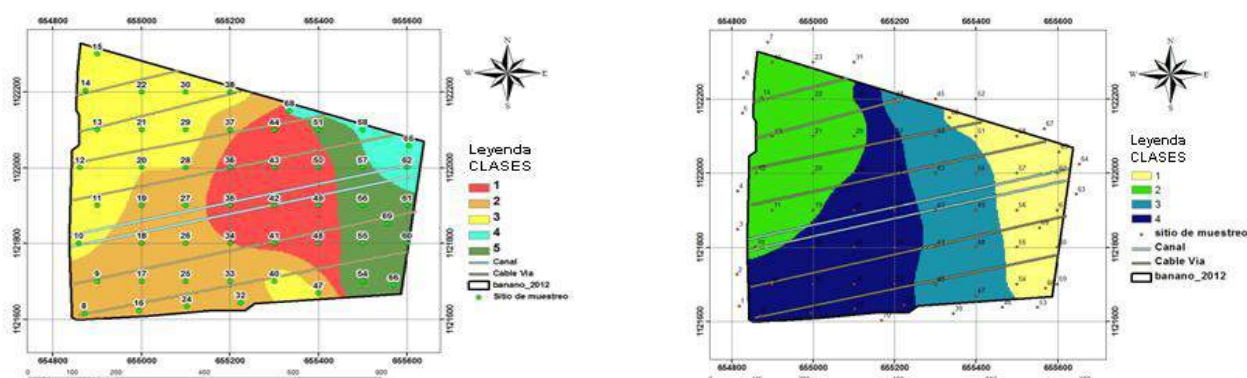


Figura 13. Clases suelo-cultivo que definen las zonas de manejo específico en la parcela de banano ubicada en la Finca Agropecuaria Punta Larga: (A) en función de las variables físicas del suelo y (B) en función de las variables químicas

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a las variables físicas del suelo (tabla 3), las clases 2 y 3 presentan, en general, condiciones favorables para el desarrollo del cultivo, con suelos caracterizados por ser franco arcillosos y sin limitaciones de orden físico para dicha clase textural (se evidencian los valores más bajos del módulo de ruptura y de densidad aparente). La proporción de macroporos y microporos condicionan suelos con alta retención de humedad y flujo de agua y aire, por lo menos en los primeros 20 cm del perfil. También se presentan proporciones relativamente bajas de fragmentos gruesos. El estado de todos estos factores representa un contexto que, en general, proporciona una de las mejores expresiones del vigor y la salud radical en la parcela de banano bajo estudio.

La clase 1 está conformada por suelos de tendencia arcillosa (más pesados) y presenta incrementos tanto en la densidad aparente como en el módulo de ruptura, aunado a la consecuente disminución de la conductividad hidráulica saturada. Estas condiciones, en conjunto, limitaron la expresión de los componentes morfométricos aéreos en las plantas, dando lugar, finalmente, a la clase con menor vigor del cultivo de banano, al tiempo que se evidencia, en la parte radical, un leve aumento en la cantidad de raíces totales y funcionales.

Por otra parte, las clases 4 y 5 suelen ser suelos de textura franco arcillo arenosa y franco arcillosa respectivamente. Ambas delineaciones coinciden en presentar las proporciones más altas de fragmentos gruesos y masa radical, así como los valores más altos de densidad aparente y módulo de ruptura. A su vez, solo en la clase 5 se evidencia una proporción de poros con $r > 15\mu\text{m}$, considerada como limitante para el flujo de agua y aire en el suelo ($< 10\%$).

Es notoria la relación persistente entre dichas clases y el material lacustrino, el cual parece aportar una variante en el suelo (bajo las condiciones físicas particulares) que incentiva a la planta a emitir mayor masa radical. Dicho mecanismo, sin duda, le permite asegurar su permanencia y producción tras posibles reducciones en las dimensiones de las variables *circunferencia de la madre* y *altura de la madre*. Es evidente que la aplicación de alternativas tecnológicas en las zonas homogéneas de manejo (clases) se dificultaría si se mantiene el arreglo de los ocho lotes, ya que dentro de cada uno se evidencian condiciones de suelo y de cultivo diferenciales. Es por ello que se recomienda reposicionar los lotes en función de las clases para así poder implementar las prácticas del manejo suelo-cultivo propicias para cada condición.





Tabla 3. Centroides de las clases suelo-cultivo en función de las variables físicas del suelo

	1	2	3	4	5
ARE	36,07	34,75	34,88	54,3	44,76
LIMO	22,23	25,2	29,77	20,53	20,22
ARC	37,79	34,62	31,99	28,7	34,89
EPT	58,94	60,59	58,87	49,84	54,81
MACRO	15,47	16,04	14,56	13,81	8,65
Micro	43,72	45,27	45,05	41,93	45,26
Da	1,36	1,14	1,28	1,43	1,43
MR	177,1	87,22	73,25	142,1	179,2
Ksat	64,07	137,9	170,8	197,2	28,45
FG	3,17	3,09	3,83	7,11	4,74
CM	59,12	62,42	70,05	58,75	60,27
AM	254,6	257,2	257,3	257,4	257,5
NM	7,90	8,20	9,44	9,34	8,99
RF	6,12	4,32	3,55	31,11	27,29
RNF	1,23	1,50	1,18	6,79	9,27
RT	6,19	4,98	3,89	36,28	34,96

Leyenda: ARE: arena; LIM: limo; ARC: arcilla; EPT: espacio poroso total; MACRO: macroporos; Micro: microporos; Da: densidad aparente; MR.: módulo de ruptura; Ksat: conductividad saturada; FG: fragmentos gruesos; CM: circunferencia de la madre; AM: altura de la madre; NM: número de manos; RF: raíces funcionales; RNF: raíces no funcionales; RT: raíces totales.

Fuente: elaboración propia.

Con relación a las clases suelo-cultivo en función de las variables químicas (tabla 4), se encontró que la clase 1, en general, presenta una textura franco arcillo arenosa con un contenido muy alto de P y CaCO_3 , alto contenido de materia orgánica (MO), medio de Mg, bajo de nitrógeno total, K y micronutrientes. En cuanto a los parámetros morfométricos, presenta mayor cantidad de número de hojas y raíces funcionales.

Por su parte, la clase 2 presenta una textura franco arcillosa, con bajo contenido de nitrógeno total, K y micronutrientes, y muy altas concentraciones de P, CaCO_3 y Mg. Se puede observar que, además, se encuentran plantas madres con pseudotallo pequeño y pocas raíces funcionales, pero con alto contenido de número de manos.

La clase 3 presenta, en general, una textura arcillosa, niveles muy altos de P y CaCO_3 , MO media, contenido alto de Mg, bajo contenido de N total, K y micronutrientes; en cuanto a las variables morfométricas, presenta plantas con baja cantidad de raíces funcionales y bajo vigor. La clase 4, al igual que la clase 2, presenta una textura franco arcillosa, niveles muy altos de P y CaCO_3 , MO media, contenido medio de Mg y bajo contenido de N total, K y micronutrientes. En relación con las variables morfométricas, presenta bajo contenido de raíces funcionales, baja circunferencia de la madre y niveles medios de número de manos.



**Tabla 4.** Centroides de las clases suelo-cultivo en función de las variables químicas del suelo

	1	2	3	4
ARE	50,38	33,97	37,16	34,59
LIM	20,49	30,19	22,97	25,83
ARC	31,28	32,50	36,84	33,72
NTotal	0,14	0,11	0,12	0,13
P	272,77	121,76	176,55	141,24
K	0,30	9,77	2,01	7,27
Ca	4377,0	2934,6	4008,8	3197,0
CaCO ₃	56,37	83,97	64,50	78,28
MO	5,92	3,80	5,91	5,64
Cu	0,28	0,09	0,22	0,13
Mg	69,61	123,98	88,92	77,65
Mn	4,89	5,89	6,54	6,36
Fe	0,24	0,46	0,30	0,38
Zn	0,19	0,11	0,15	0,19
NH	8,99	7,45	8,76	8,84
NM	9,19	9,20	8,77	8,00
AM	258,48	280,57	263,25	254,36
CM	59,27	71,30	61,66	61,78
RF	29,83	3,05	7,61	3,25
RNF	7,96	1,25	1,46	1,47
RT	36,31	3,55	7,68	4,08

Leyenda: ARE: arena, LIM: limo, ARC: arcilla, CM: circunferencia de la madre, AM: altura de la madre, NM: número de manos, NH: número de hojas, RF: raíces funcionales, RNF: raíces no funcionales, RT: raíces totales, P: fósforo, MO: materia orgánica, CaCO₃: carbonato de calcio equivalente, CE: conductividad eléctrica, NTotal: nitrógeno total, Ca: calcio, Na: sodio, K: potasio, Mg: magnesio, Zn: zinc, Fe: hierro, Mn: manganeso, Cu: cobre.

Fuente: elaboración propia.

En general, las cuatro clases son similares desde el punto de vista interpretativo respecto a las propiedades de los suelos, a excepción de la MO y el Mg. Sin embargo, se aprecia que los suelos con una proporción similar de arena, limo y arcilla ($\approx 33\%$ c/u) son los que presentaron plantas de mayor vigor, aun cuando estas presentaron la más baja cantidad de raíces totales y funcionales. En relación a las propiedades químicas, el mayor vigor del banano estuvo asociado a los menores contenidos de fósforo y calcio, debido a que en las otras zonas de manejo los contenidos de estos elementos son muy altos, lo cual posiblemente causa desbalances nutricionales. Por otra parte, el mayor vigor se presentó en los suelos con los mayores niveles de potasio (elemento esencial para el banano), magnesio y hierro. Estos resultados pueden ser usados para replantear los lotes en el terreno y ajustar el manejo de acuerdo a las características particulares de los suelos, como una manera de ir hacia una agricultura de precisión.





Es importante señalar que se planteó la generación de un mapa de unidades de manejo con base en vigor del cultivo y las variables físicas de suelo, y otro con base en el vigor del cultivo y las variables químicas de suelo. Esto debido a que el manejo de las propiedades físicas, en el caso de banano, se puede realizar en la renovación de los lotes (cada 5 a 10 años) a través de la construcción de drenajes, el uso de diferentes implementos de preparación y la cantidad de pases efectuados. En el caso de las propiedades químicas de suelo, estas pueden manejarse anualmente de manera diferencial. Sin embargo, en este caso la conformación de las unidades de manejo está muy relacionada con el proceso de formación de las terrazas lacustrinas y se aprecia cómo ambos mapas son muy similares, lo cual indica que la conformación de los lotes debería seguir una orientación norte-sur, que es la dirección de menor variabilidad.

Conclusiones

- La variabilidad espacial de los componentes morfométricos que describen el vigor del banano (*Musa AAA*) y de las propiedades físicas de suelo presentan, en general, un patrón de distribución orientado en sentido este-oeste, de forma concéntrica en torno al lago de Valencia. Se encontró que los componentes morfométricos aéreos y radicales de las plantas están asociados, lo cual se evidencia en una mayor altura y un mayor grosor del tallo conforme la planta tiende a disminuir la masa radical. El número de manos, por su parte, se mostró invariable ante el comportamiento de los parámetros radicales de la planta, por cual el hecho que la planta emita mayor cantidad de raíces no implica que tenga una mayor o menor cantidad del número de manos; esto se cumple, por lo menos, bajo este contexto edafoclimático particular.
- El comportamiento de las variables radicales del cultivo se encuentra asociado con las propiedades físicas del suelo. Las plantas presentan una mayor producción de raíces totales y no funcionales tanto en los suelos más pesados (arcillosos) como en los suelos con predominio de fragmentos gruesos (caracolillo), y esta última resultó ser la condición de mayor influencia sobre el comportamiento de los parámetros radicales.
- Se definieron cinco zonas de manejo específico con base en un conjunto de 16 variables, entre propiedades físicas y morfométricas del cultivo, por medio de un modelo producido por la red neuronal borrosa FKCN, la cual permitió agrupar los suelos en cinco clases, orientadas en sentido este-oeste. Esta delineación estuvo fuertemente influenciada por la textura del suelo y se encontraron, por lo general, plantas de mayor vigor en los suelos franco arcillosos y de menor vigor en los suelos arcillosos. Los índices *módulo de ruptura*, *densidad aparente* y *conductividad saturada* fueron los de mayor influencia sobre el comportamiento de los parámetros aéreos del cultivo.
- Las propiedades físicas que proporcionaron la mayor distinción entre clases fueron los macroporos, la densidad aparente, el módulo de ruptura y la conductividad saturada. Los lotes están dispuestos de forma perpendicular a las clases obtenidas, por lo cual atraviesan el máximo de la variabilidad. Reposicionar los lotes en función de las clases es una alternativa que facilitaría la aplicación de las prácticas de manejo específicas en las zonas homogéneas.
- Con respecto a las variables químicas, el suelo mostró niveles altos de fósforo, mientras el nitrógeno total y el potasio presentan niveles de medios a bajos. Los contenidos





de calcio fueron muy altos, asociados a la presencia de caracolillo en el suelo, y los de magnesio, de bajos a altos. Los micronutrientes presentan un contenido bajo, relacionado con la reacción alcalina que tienen los suelos. En la parcela se aprecian zonas con concentraciones medias de sales, condición limitante para el cultivo de banano. Finalmente, los contenidos de materia orgánica fueron de medios a altos.

- El vigor de las plantas de banano presentó una variación espacial relacionada con la variabilidad de las propiedades químicas de los suelos que fueron analizadas, principalmente en Ca, CaCO_3 , K, Mg, Fe y Cu. Esta correlación fue interpretada mediante los conjuntos neuroborrosos para definir cuatro zonas de manejo en la parcela.
- Las cuatro zonas de manejo que se definieron presentan una distribución en sentido oeste-este que coincide con la variación de las terrazas lacustrinas que se orientan de forma concéntrica en torno al lago de Valencia. De esta manera, los lotes actuales (unidad de manejo de la finca) están orientados en el sentido de la máxima variabilidad, haciendo engorroso el manejo por sitio específico.
- El manejo agronómico del banano (cultivo permanente) planteó la generación de zonas de manejo basadas en la relación entre variables físicas de suelos y cultivos, y otras basadas en variables químicas de suelos y cultivos. Aun cuando se generaron cinco y cuatro zonas de manejo para las variables físicas y químicas de suelos, respectivamente, ambos mapas son similares, lo cual evidencia la influencia de la formación concéntrica típica de suelos lacustrinos.





Bibliografía

- Afifi, A. & Clark, V. (1984). *Computer-aided multivariate analysis*. Belmont, California: Lifetime Learning Publications.
- Blake, G. & Hartge, K. (1986). Bulk Density. En: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical and Mineralogical Methods* (pp. 363-375). [Agronomy Monograph N° 9] (2nd ed.). Madison: ASA and SSSA.
- Castañeda, D. (2011). *Evaluación de métodos estadísticos para el desarrollo de una propuesta de manejo por sitio específico para banano*. (Tesis doctoral). Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.
- Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios (Fedeagro) (2013). *Indicadores de la producción por grupos de cultivos*. Recuperado de <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>.
- Danielson, R. & Sutherland, P. (1986). Porosity. En: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical and Mineralogical Methods* (pp. 443-461). Madison: ASA and SSSA.
- Demey, J., Adams, M. & Freitas, H. (1994). Uso del método de análisis de componentes principales para la caracterización de fincas agropecuarias. *Agronomía Tropical*, 44(3), 475-497.
- Durand, J. (2009). Uso de sistemas de información geográfica para el análisis de la vulnerabilidad y selección de los barangays beneficiarios en la región de Bicol, Filipinas. *Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano*, 8. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099/7382>.
- Draye, X., Lecompte, F. & Pagès, L. (2003). Distribution of banana roots in time and space: new tools for an old science. En: D. Turner & F. Rosales (eds.), *Banana root system: towards a better understanding for its productive management* (pp. 58-73). San José, Costa Rica: Inibap, Musalac y Corbana. Recuperado de https://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Banana_root_system__towards_a_better_understandingfor_its_productive_management_Sistema_radical_del_banano__hacia_un_mejor_conocimiento_para_su_manejo_productivo_1382.pdf.
- Food Agriculture Organization (FAO). (2004). *La economía mundial del banano 1985-2002*. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/007/y5102s/y5102s00.htm>.
- Gallardo, C. (2006). Geoestadística. *Ecosistemas*, 15(3), 48-58.
- Gauggel, C., Sierra, F. & Arévalo, G. (2003). The problem of the banana root deterioration and its impact on production: Latin America's experience. En: D. Turner & F. Rosales (eds.), *Banana root system: towards a better understanding for its productive management* (pp. 13-22). San José, Costa Rica: Inibap, Musalac y Corbana.. Recuperado de <https://www.bioversityinternational.org/uploads/>





tx_news/Banana_root_system__towards_a_better_understandingfor_its_productive_management_Sistema_radical_del_banano__hacia_un_mejor_conocimiento_para_su_manejo_productivo_1382.pdf.

- Gee, G. & Or, D. (2002). Particle-size analysis. En: J. H. Dane & G. C. Topp (eds.) *Methods of soil analysis. Part 4.* (pp. 255-293). Madison: Soils Science Society of America, Book series N° 5.
- Gilabert de Brito, J., López de Rojas, I. & Pérez de Roberti, R. (1990). *Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia.* [Serie A, N° 26]. Maracay, Venezuela: FONAIAP.
- Heanes, D. L. (1984). Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15, 1191-1213.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (20 de octubre de 2013). *Estaciones meteorológicas por estado. Aragua.* Recuperado de http://www.inameh.gob.ve/mensual/info_climatologica.php.
- International Network for the Improvement of Banana and Plantain (Inibap). (2006). *Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y el Caribe.* Informe Técnico Proyecto FONTAGRO ATN/SF-9159 R6 - 2005-2006. Recuperado de: https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2004/01/I_infotec_04_110.pdf
- Jaramillo, D., Anaya, M., Restrepo, C., González, H. & Álvarez, F. (2011). Variables físicas que explican la variabilidad de suelo aluvial y su comportamiento espacial. *Pesq. Agropec. Bras.*, 46(12), 1707-1715.
- Martínez, G. (2009). Situación nacional de las musáceas: breve análisis. *Producción Agropecuaria*, 2(1), 31-44.
- Mehlich, A. (1978). New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 9, 477-492.
- Odeh, I., McBratney, A. & Chittleborough, D. (1992). Soil pattern recognition with Fuzzy-c-means: application to classification and soil-landform interrelationships. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 505-516.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate.* [Circular 939]. Washington, D.C.: Department of Agriculture. Recuperado de <https://archive.org/details/estimationofavai939olse>.
- Pla, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Rev. Fac. Agron. Alcance* N° 32. Maracay.





- Pla, L. (1986). *Análisis multivariado: método de componentes principales*. Washington, D.C.: Instituto Interamericano de Estadística, Sec. General de la OEA.
- Reynolds, W., Elrick, D., Youngs, E., Amoozegar, A., Booltink, H., & Bouma, J. (2002). Saturated and field-saturated water flow parameters. En: J. Dane & G. Topp (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods* (pp. 797-878). Madison: Soil Science Society of America.
- Rosales, F., Pocasangre, L., Trejos, J., Serrano, E. & Peña, W. (2008). *Guía de diagnóstico de la calidad y salud de los suelos bananeros*. Roma: Bioversity International.
- Schabenberger, O. & Gotway, C. (2005). *Statistical methods for spatial data analysis*. New York: Chapman y Hall CRC.
- Serrano, E. (2003). Relationship between functional root content and banana yield in Costa Rica. En: D. Turner & F. Rosales (eds.), *Banana root system: towards a better understanding for its productive management* (pp. 25-34). San José, Costa Rica. Inibap, Musalac y Corbana.
- Tukey, J. (1977). *Exploratory data analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co.
- Viloria, J. (1984). *Origen de los suelos en la depresión del lago de Valencia*. [Mimeografiado]. Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.
- Viloria, J., Viloria, A., Núñez, H. & Pineda, M. C. (2009). *Cartografía automatizada de unidades de paisaje en relieves montañosos por medio de redes neuronales artificiales*. III Jornadas de Geomática, vol. 3, Caracas, Venezuela. DOI: 10.13140/RG.2.1.5097.1609.





Características Redoximórficas en Paleoambientes de los Andes Colombianos

Redoximorphic Characteristics in the Colombian Andes

Jorge A. Sánchez Espinosa¹

Resumen

Se ha establecido que el abanico diluvial de Fusagasugá fue configurado por materiales transportados desde la parte alta de la región de Pasca, y depositados con características de un flujo diluvial, cuyo espesor varía hasta alcanzar los 420 metros en el sector de Chinauta, y es el principal depósito cuaternario de la zona correspondiente al Pleistoceno tardío. El objetivo de la investigación se centra en la evaluación de los suelos y de la evolución pedológica del abanico, tomando como trazadores de la edafogénesis la mineralogía de las arcillas y arenas, la caracterización física química y la micromorfología. Los suelos estudiados en el abanico corresponden a los Grandes Grupos taxonómicos Melanudands, Paleudults, Paleudalfs y Haplustalfs. Sobre la base de las diferencias climáticas, los materiales parentales y las geoformas, se seleccionaron los perfiles modales de los suelos y en cada horizonte se tomaron muestras para realizar los análisis químicos, físicos, mineralógicos y muestras no alteradas in situ para los estudios micromorfológicos. La dinámica edafológica de este sistema está determinada por los flujos de materia y energía, a través del movimiento vertical del agua dentro del suelo, los cuales dependieron, a su vez, de la alternancia de condiciones climáticas contrastantes de periodos de alta precipitación y de periodos secos, que son muy diferentes a las actuales. Los procesos de oxidación-reducción, que definen condiciones redoximórficas relacionadas con procesos de hidromorfismo en los suelos, indican claramente que ciertas etapas de su formación ocurrieron en condiciones medioambientales diferentes a las que prevalecen en la actualidad.

Palabras clave: Factores formadores, procesos de formación, geomorfología, mineralogía de arenas y arcillas y micromorfología.

1. Ph.D en Ciencias Agrarias UN. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología jasanchez@igac.gov.co Ciencias de la tierra





Abstract

It was established that deposited materials configured the present morphology of Fusagasugá. These were transported from the Upper region of Pasca, with characteristics of a diluvial flow clear; whose thickness varies up to 420 m., the Chinauta sector is the main quaternary deposit area for the late Pleistocene. The objective of the research focuses on the assessment of pedagogical evolution of the fan using as tracers of pedogenesis of the mineralogy of the sands and types of clay. The physicochemical characterization and the micromorphology of soils to determine which relationships may exist between Genesis, mineralogy, micromorphology and soil fertility in the diluvial fan of Fusagasugá. The studied soils belong to the following major taxonomic groups: Melanudands, Paleudults, Paleudalfs and Haplustalfs; differences in climate, parent materials and landforms as modal profiles, each single sample was taken for chemical, physical and mineralogical analysis and selected in situ to undisturbed samples for micromorphological studies. The dynamics of this system are determined by the flows of matter and energy through hydrological processes (vertical movement in the soil), which depend on the alternation of contrasting climatic conditions high rainfall and dry periods, conditions very different from today. The oxidation-reduction processes, which define the conditions related with redoximorphic marked evidence of hydromorphism in soils clearly indicate that certain stages of its formation occurred in different environmental conditions.

Keywords: *Factors trainers, training processes, geomorphology, sand and clay mineralogy and micromorphology.*





Introducción

De acuerdo con la morfología actual del abanico de Fusagasugá, se ha establecido que este fue configurado por materiales transportados y depositados desde la parte alta de la región de Pasca, con características de un flujo diluvial con claro sorteamiento. Su espesor varía hasta alcanzar los 420 metros en el sector de Chinauta (IGAC, 2000; INGEOMINAS, 2001; Khobzi & Usselman, 1973). Según Bürgli (1957), es el principal depósito cuaternario de la zona correspondiente al Pleistoceno tardío. Posteriormente la acción de los agentes modeladores sobre el abanico configuró un panorama morfológico complejo, a lo que se aunó la interacción de los factores formadores (clima, relieve, material parental, organismos y tiempo) y los procesos de formación (ganancias, pérdidas, transformaciones y translocaciones) del suelo, lo cual generó un mosaico de suelos con pedogénesis distintas y complejas (IGAC, 2000). Tales eventos explican la distribución de los diferentes suelos en este piedemonte de origen diluvial, cuyo grado de evolución varía desde moderado (Inceptisoles y Andisoles) hasta avanzado (Ultisoles y Alfisoles). En el primer caso, los procesos más importantes en la edafogénesis han sido las transformaciones, las ganancias y las pérdidas, mientras que en el segundo ha predominado la acumulación de arcilla iluvial que ha originado un horizonte argílico (Bt) en el suelo. La condición húmeda y la estabilidad de la geoforma explican la presencia de Ultisoles, mientras que en los sectores bajo condición seca, ocurre la presencia de Alfisoles.

La geomorfología del país presenta muchos ejemplos de abanicos diluviales. Entre ellos se destacan los macroabanicos de Armenia-Pereira e Ibagué, formados hacia la base de las vertientes occidental y oriental de la Cordillera Central, respectivamente; y la sucesión de abanicos-terrazza de Pasca, Fusagasugá-Chinauta y Tolemaida, localizados en depresiones intramontanas a lo largo de la vertiente oeste de la Cordillera Oriental.

Para el desarrollo de la presente investigación se plantearon como objetivo, por una parte, evaluar la evolución pedológica del abanico, tomando como trazadores de la edafogénesis, la mineralogía de arcillas y arenas, la micromorfología y la caracterización físico química de los suelos; y, por otro, determinar las relaciones pedogenéticas que pueden existir, con el fin de establecer relaciones geopedológicas y climáticas de los suelos con el propósito de esclarecer su origen y evolución.

Desarrollo teórico y metodológico

El abanico diluvial de Fusagasugá¹ se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca entre los 4° 21' 00" Latitud Norte, 74° 24' 00" Longitud Oeste, y a 64 Kilómetros al sur-occidente de Bogotá (Ver figura 1). Fusagasugá es la capital de la Provincia del Sumapaz que, junto con el municipio de Pasca, hacen parte de la cuenca del río Sumapaz, la cual pertenece al sistema hidrográfico occidental del departamento de Cundinamarca. La superficie actual del abanico diluvial se encuentra a una altitud de entre 550 y 3050 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media anual varía de 14° a 26° C y la precipitación media anual está entre 1080 y 1840 mm (IGAC, 2009).

2. Sedimentación diluvial, término sugerido por Goosen (1979) del ITC de Holanda y adoptado por la Unidad de Suelos del CIAF (hoy Oficina Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi). A diluvial se le asigna una connotación de fuerte torrencialidad (Villota, 1998).



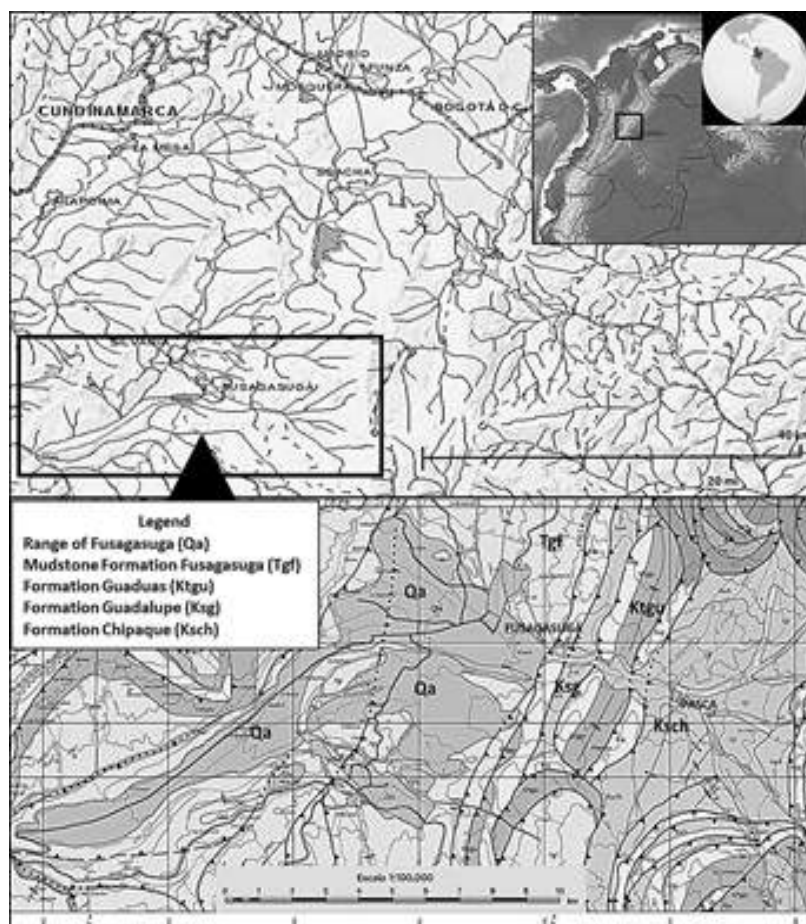


Figura 1. Mapa localización del área de estudio
Fuente IGAC e INGEOMINAS-2001

Este estudio se llevó a cabo a lo largo de un transecto EW. Con base en las diferencias geomorfológicas, en los pisos climáticos y en los materiales parentales, se identificó la variedad de suelos y su distribución en el paisaje. Las descripciones de los suelos se realizaron de acuerdo con las directrices del Soil Survey Staff (IGAC, 1995). Se tomaron siete perfiles de suelos desarrollados en diferentes paisajes y pisos altitudinales, de acuerdo con la secuencia geomorfoclimática mostrada en la figura 2: dos perfiles en páramo y subpáramo, un perfil en clima frío, dos en clima medio y dos en clima cálido. De cada horizonte se recolectaron muestras para realizar los análisis químicos, físicos y mineralógicos. En total fueron 28 muestras, de las cuales 22 fueron no alteradas para los estudios micromorfológicos.

En el páramo de Sumapaz del municipio de Usme, en el sector los Tunjos y laguna de Chisacá, se ubicó el perfil denominado JS1 a una altitud de 3940 msnm, correspondiente al relieve montañoso estructural-glaciario-denudativo. Se describió el perfil JS2E, en el municipio de Pasca, en la vereda Juan Viejo y a una altitud de 3280 msnm, en el abanico coluvio-diluvial muy inclinado. El perfil JS3 se ubica en el municipio de Pasca, vereda Alto del Molino, a 2140 msnm, en el ápice del abanico diluvial parte media. En el municipio de Fusagasugá, vereda Novilleros y a una altitud de 1660 msnm, en el cuerpo del abanico diluvial, se describieron los perfiles JS4 y JS5; y en el sitio del peaje de Chinauta a una altitud de 1100 msnm, en la base del abanico, se ubicaron los perfiles JS6 y JS6a.





Provincia fisiográfica: Cordillera de plegamiento

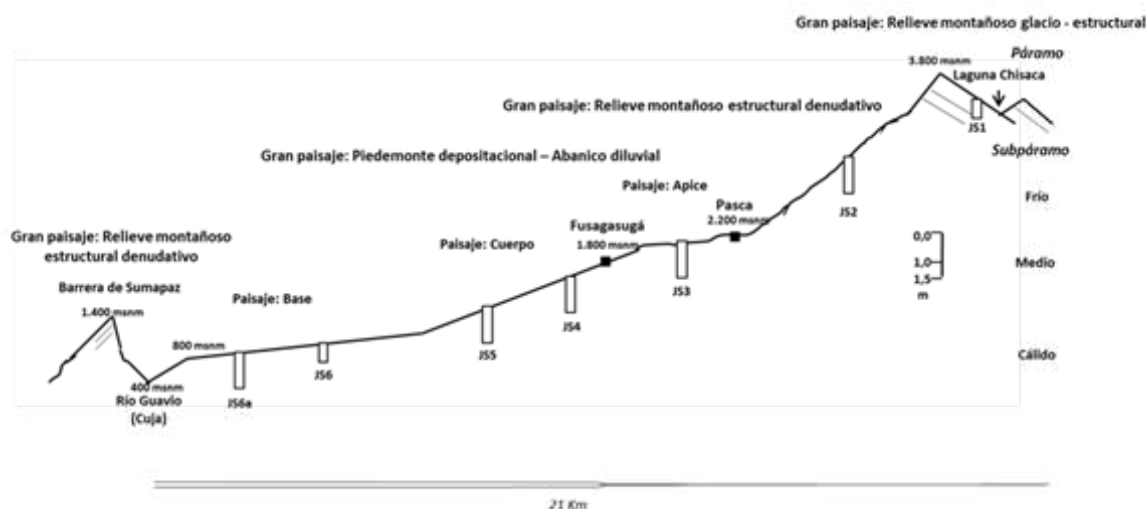


Figura 2. Perfil topográfico y secuencia de los perfiles de suelos descritos en el abanico diluvial de Fusagasugá, desde el Páramo hasta la barrera de Sumapaz. La escala vertical de los perfiles (a la derecha) es exagerada con respecto a la del relieve. Los perfiles 1-2 son Melanudands, perfil 3 es Paleudults, perfiles 4 y 5 Paleudalfs y perfiles 6 y 6a Haplustalfs.

En las muestras de suelos correspondientes a la fracción de suelo fino (<2 mm), se determinó: (1) la distribución del tamaño de partículas, mediante los métodos de la pipeta y Bouyoucos, utilizando como dispersante el hexametáfosfato de sodio; (2) pH por el método potenciométrico en relación suelo:agua 1:1, 1:2, 1:3 y pasta de saturación; (3) carbono orgánico por digestión vía húmeda (Walkley & Black); (4) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y (5) bases extractables mediante Acetato de amonio 1N pH 7,0; (6) cuantificación de las bases por espectrofotometría de absorción y emisión atómica; (7) acidez, aluminio e hidrógeno intercambiables por extracción con KCl 1N; (8) acidez extractable con cloruro de bario y trietanolamina pH: 8.2; (9) fósforo disponible por Bray – II modificado; (10) aluminio, hierro y silicio activos por extracción con oxalato ácido de amonio a pH 3, pirofosfato de sodio 0.1M a pH 10 y ditionito citrato bicarbonato y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica; (11) índice melánico por el método colorimétrico; (12) retención fosfórica por el método de fijación de fosfato y cuantificación colorimétrica con solución de vanadato de amonio – molibdato de amonio – ácido nítrico; densidad aparente por el método del terrón parafinado y densidad real de las partículas con el pentapícnometro, retención de agua por el método de extractor de presión con platos de cerámica y/o membrana de celulosa para tensiones entre -33 y 1.500 kPa, micro, macro y porosidad total fueron calculadas a partir de la densidad aparente, densidad real y retención de agua a saturación y a -33 kPa (IGAC, 2006).

Para el estudio mineralógico se emplearon las técnicas de microscopia óptica y difracción de rayos-X, a fin de establecer la composición mineral de las arenas y las arcillas, respectivamente y determinar cuál es la especie o especies más características de cada suelo (IGAC, 2006).





Para la descripción micromorfológica se utilizan los conceptos y términos técnicos descritos en los manuales especializados de análisis micromorfológico: Atlas de micromorfología de suelos e introducción a la micromorfología, de Josefina Benayas del Rey (1982); Fabric and mineral analysis of soils, de Roy Brewer (1964); Handbook for soil thin section description de Bullock, Fedorof, Jongerius, Stoops & Tursina (1985); Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections, de Stoops (2003); Soil survey laboratory methods manual, de USDA (2011); Kellogg soil survey laboratory methods manual, de USDA (2014). Para la elaboración de la sección delgada se utilizó la cortadora y desbastadora Petro-Thin, dotada de un disco de corte de borde continuo diamantado y copa diamantada, con aglomerante sintético (ver Métodos analíticos del laboratorio de Suelos del IGAC, 2006).

Para dar alcance al cumplimiento de los objetivos, respecto a establecer las relaciones geopedológicas y climáticas, y a fin de esclarecer el origen y evolución de los suelos del abanico de Fusagasugá, se requiere caracterizar el cuerpo natural suelo, siguiendo un hilo conductor desde lo mega en su contexto geomorfológico y climático, pasando a lo macro, que es el perfil del suelo y teniendo en cuenta lo MICRO para el análisis micromorfológico. Bajo estas condiciones de campo y sobre la base de las diferencias climáticas de los materiales parentales y de las geoformas, se seleccionaron los perfiles para su descripción morfológica. De cada horizonte se tomaron muestras simples para realizar los análisis químicos, físicos y mineralógicos, y muestras no alteradas para los estudios micromorfológicos. Los horizontes resultan de la diferenciación del material originario por los procesos pedogenéticos y el modo de análisis es la observación y descripción directa en el campo (Zinck, 2012).

El perfil, en términos de pedón, representa las condiciones pedológicas del polipedón, cuyos límites van hasta donde hay un cambio del suelo y así pueden ser cartografiados de acuerdo con los diferentes niveles de detalle de los levantamientos de suelos, lo cual no es objeto de este estudio.

Resultados

En la tabla 1, se presentan los resultados relacionados con la “actividad” de la fracción arcilla, en términos de la superficie disponible para retener el agua a una presión de 1500 kiloPascuales, también conocida como el índice de meteorización de Comerma (Comerma, 1968). Esta relación se refiere al grado de meteorización de algunos suelos en zonas tropicales, encontrándose que, a valores menores de 0,3, los suelos son muy evolucionados y muy degradados; a valores entre 0,3 y 0,4 son moderadamente evolucionados y menos degradados; y valores por encima de 0,5 para suelos recientes.





Tabla 1. Relación Contenido de Arcilla en % vs retención de agua a -1500 kPa Índice de Comerma (Comerma, 1968).

Perfil	Prof. Cm	Nomenclatura	ARCILLA %	Retención de humedad 1500 kPa	Relación Retención de humedad 1500 kPa / %Ar
JS - 2	0 - 30	Ap	42,42	34,34	0,8
JS - 2	30 - 49	AB	47,37	28,12	0,6
JS - 2	49 - 70	2Btg1	47,77	24,47	0,5
JS - 2	70 - 120	2Btg2	51,03	22,89	0,4
JS - 3	0 - 23	Ap	45,44	23,15	0,5
JS - 3	23 - 54	2Btg1	75,31	35,27	0,5
JS - 3	54 - 70	2Btg2	72,03	30,13	0,4
JS - 3	70 - 92	2Btg3	70,59	34,34	0,5
JS - 3	92 - 120	2Btg4	72,73	25,09	0,3
JS - 4	0 - 25	Ap	22,96	14,20	0,6
JS - 4	25 - 45	AB	40,35	14,74	0,4
JS - 4	45 - 59	2Btg1	43,14	12,64	0,3
JS - 4	59 - 88	2Btg2	40,19	15,52	0,4
JS - 4	88 - 110	2Btg3	41,60	17,19	0,4
JS - 5	0 - 18	Ap	22,22	11,91	0,5
JS - 5	18 - 56	2Btg1	60,90	23,92	0,4
JS - 5	56 - 79	2Btg2	72,93	28,14	0,4
JS - 5	79 - 103	2Btv	73,98	26,86	0,4
JS - 5	103 - 117	2Btg	88,49	32,79	0,4
JS - 6	0 - 18	Ap	7,81	6,57	0,8
JS - 6	18 - 60	Bt	28,87	13,58	0,5
JS - 6a	0 - 26	Ap	7,43	9,69	1,3
JS - 6a	26 - 33	AB	37,05	19,66	0,5
JS - 6a	33 - 49	Bt1	19,84	14,38	0,7
JS - 6a	49 - 59	Bt2	32,80	15,21	0,5
JS - 6a	59 - 82	Bt3	15,00	13,96	0,9
JS - 6a	82 - 100X	Bt4	76,51	24,13	0,3

Así mismo, en la tabla 2 se presenta el índice de desgaste de Martini (Benavides, 1973). El índice de desgaste disminuye con la CIC de la arcilla y con un aumento en el contenido de arcilla del horizonte como resultado del intemperismo. Se encontró que, por una parte, los suelos, JS2 horizontes Ap AB y 2Btg1, JS3 horizonte Ap, JS4 horizonte Ap, JS5 horizonte Ap y JS6a horizontes Ap Bt1, Bt2 y Bt3 son menos alterados o intemperizados; mientras que los suelos JS2 horizonte 2Btg2, JS3 horizontes 2Btg1, 2Btg2, 2Btg3 y 2Btg4; JS4 horizontes AB, 2Btg1, 2Btg2; JS5 horizontes 2Btg1, 2Btg2, 2Btv y 2Btg y JS6a horizontes AB y Bt4 son más alterados o intemperizados.





Tabla 2. Índice de desgaste de Martini $I_w = \text{CIC Ar} / \% \text{Ar}$. (Benavides, 1974)

No. Perfil	Prof. Cm	Ar %	CIC cmol/Kg	CO %	MO %	CIC cmol/Kg en Ar	INDICE DE DESGASTE Martini (1970)
JS - 2	0 - 30	42,4	43,0	8,8	16,72	67,9	1,6
JS - 2	30 - 49	47,4	30,4	3,1	5,89	58,0	1,2
JS - 2	49 - 70	47,8	24,2	0,96	1,82	48,7	1,0
JS - 2	70 - 120	51,0	21,2	0,26	0,49	41,0	0,8
JS - 3	0 - 23	45,4	24,5	2,3	4,37	49,3	1,1
JS - 3	23 - 54	75,3	23,5	0,60	1,14	30,0	0,4
JS - 3	54 - 70	72,0	21,7	0,33	0,63	29,5	0,4
JS - 3	70 - 92	70,6	21,9	0,36	0,68	30,3	0,4
JS - 3	92 - 120	72,7	18,8	0,17	0,32	25,5	0,4
JS - 4	0 - 25	23,0	11,1	1,5	2,85	45,3	2,0
JS - 4	25 - 45	40,4	12,3	1	1,90	28,5	0,7
JS - 4	45 - 59	43,1	10,1	1,1	2,09	21,2	0,5
JS - 4	59 - 88	40,2	7,4	0,27	0,51	17,9	0,4
JS - 4	88 - 110	41,6	7,8	0,07	0,13	18,6	0,4
JS - 5	0 - 18	22,2	10,1	1,8	3,42	41,9	1,9
JS - 5	18 - 56	60,9	14,4	0,51	0,97	22,6	0,4
JS - 5	56 - 79	72,9	13,4	0,11	0,21	18,2	0,2
JS - 5	79 - 103	74,0	15,6	0,07	0,13	20,9	0,3
JS - 5	103 - 117	88,5	17,7	0,11	0,21	19,8	0,2
JS - 6	0 - 18	7,8	4,3	0,92	1,75	53,2	6,8
JS - 6	18 - 60	28,9	13,7	0,32	0,61	46,8	1,6
JS - 6a	0 - 26	7,4	3,1	0,43	0,82	40,9	5,5
JS - 6a	26 - 33	37,1	11,9	0,42	0,80	31,3	0,8
JS - 6a	33 - 49	19,8	20,5	0,2	0,38	102,9	5,2
JS - 6a	49 - 59	32,8	21,3	0,24	0,46	64,5	2,0
JS - 6a	59 - 82	15,0	15,1	0,04	0,08	100,6	6,7
JS - 6a	82 - 100X	76,5	24,2	0,1	0,19	31,4	0,4

Se evidencia la relación existente entre los datos de las tablas 1 y 2 con el contenido de arcilla, arena muy fina, limo fino y limo medio de la tabla 3. En amarillo se señalan las coincidencias de estos resultados en el sentido de la relación que se muestra con una sedimentación en aguas tranquilas y con el grado evolutivo de los suelos (entre moderado a muy evolucionados) en el índice de Comerma y el índice de desgaste de Martini, a menor índice mayor desgaste de los suelos.





Tabla 3. Contenidos de la fracción arena muy fina y limo medio y fino (Sánchez-Espinosa, 2017)

Perfil	Prof. Cm	Nomenclatura	Grava %	Granulometría por pipeta			ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASE TEXTURAL
				A muy fina	L medio	L fino				
				0,1 - 0,05	0,05 - 0,02	0,02 - 0,002				
JS - 2	0 - 30	Ap	0,0	3,2	19,8	33,3	4,6	53,0	42,4	ArL
JS - 2	30 - 49	AB	0,0	7,9	10,2	31,0	11,4	41,3	47,4	ArL
JS - 2	49 - 70	2Btg1	1,51	9,2	11,8	27,1	13,3	38,9	47,8	Ar
JS - 2	70 - 120	2Btg2	0,0	7,3	9,9	28,4	10,8	38,2	51,0	Ar
JS - 3	0 - 23	Ap	0,25	9,3	7,0	32,9	14,8	39,8	45,4	Ar
JS - 3	23 - 54	2Btg1	0,06	5,4	4,7	13,3	6,7	18,0	75,3	Ar
JS - 3	54 - 70	2Btg2	0,36	5,4	5,2	15,7	7,1	20,9	72,0	Ar
JS - 3	70 - 92	2Btg3	1,99	4,6	3,8	14,0	11,6	17,8	70,6	Ar
JS - 3	92 - 120	2Btg4	0,20	2,5	2,6	21,1	3,6	23,7	72,7	Ar
JS - 4	0 - 25	Ap	0,0	24,4	16,6	12,6	47,8	29,2	23,0	F
JS - 4	25 - 45	AB	0,0	20,4	13,6	10,7	35,3	24,3	40,4	Ar
JS - 4	45 - 59	2Btg1	0,0	19,8	12,0	10,2	34,7	22,1	43,1	Ar
JS - 4	59 - 88	2Btg2	0,0	21,4	12,8	11,1	35,9	23,9	40,2	Ar
JS - 4	88 - 110	2Btg3	0,0	21,1	11,8	11,5	35,1	23,4	41,6	Ar
JS - 5	0 - 18	Ap	0,0	21,0	16,6	12,0	49,2	28,6	22,2	F
JS - 5	18 - 56	2Btg1	0,0	10,2	8,2	9,0	22,0	17,2	60,9	Ar
JS - 5	56 - 79	2Btg2	0,0	7,5	4,3	6,8	16,0	11,1	72,9	Ar
JS - 5	79 - 103	2Btv	0,0	6,3	4,7	7,2	14,1	11,9	74,0	Ar
JS - 5	103 - 117	2Btg	0,0	3,5	0,7	3,5	7,3	4,2	88,5	Ar
JS - 6	0 - 18	Ap	0,0	25,9	24,1	22,6	45,5	46,7	7,8	F
JS - 6	18 - 60	Bt	0,0	18,2	17,0	18,7	35,4	35,7	28,9	F Ar
JS - 6a	0 - 26	Ap	0,0	28,3	21,6	16,1	54,8	37,7	7,4	FA
JS - 6a	26 - 33	AB	0,0	17,5	14,4	11,7	36,9	26,1	37,1	FAr
JS - 6a	33 - 49	Bt1	14,2	15,7	18,9	22,1	39,2	41,0	19,8	F
JS - 6a	49 - 59	Bt2	23,3	14,4	11,4	24,0	31,8	35,4	32,8	FAr
JS - 6a	59 - 82	Bt3	13,9	15,9	18,0	21,6	45,4	39,6	15,0	F
JS - 6a	82 - 100X	Bt4	0,0	6,4	5,3	4,1	14,2	9,3	76,5	Ar

El alto contenido de arcilla , con sólo pequeñas cantidades de limo fino y limo medio a arena muy fina sugieren que los materiales se depositaron bajo un cuerpo de aguas tranquilas.

De acuerdo con lo anterior, estos resultados indican que hubo épocas pedoambientales diferentes a las actuales que dejaron sus huellas en los suelos. Lo anterior correspondería a una gran cuenca de sedimentación con condiciones muy marcadas de alternancia de periodos secos y húmedos contrastantes, que generaron condiciones de alta saturación posiblemente de aguas tranquilas. Esta situación genera en los suelos procesos relacionados con la iluviación de arcilla y de oxidación reducción, lo que significa la formación de suelos muy evolucionados a moderadamente evolucionados, lo que implicaría en condiciones actuales a la formación de suelos poligenéticos o policíclicos o suelos con varias génesis.

Hierro activo

Para evaluar el contenido de hierro en el suelo, se han empleado técnicas analíticas con extracción de varios reactivos, cuyos resultados dan una estimación de la cantidad de estos minerales (Schwertmann, 1985; Parfitt & Childs, 1988; Zhang, Alva, Li & Calvert, 1997). Esto debido a que la identificación de los minerales de hierro plantea una gran





dificultad para su estudio, ya que parte del problema se debe al bajo porcentaje que hay en los suelos y al empleo de la difracción de rayos X que no siempre produce buenos resultados (Dahlgren, 1994).

En la tabla 4, se presentan los contenidos de hierro extraídos en la fracción de tierra fina con oxalato ácido de amonio, con ditionito citrato bicarbonato y con pirofosfato de sodio. El tratamiento con ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra & Jackson, 1960) extrae hierro (Fe_d) de la mayoría de los minerales del hierro pedogénético. Esta técnica determina óxidos de hierro lábiles; el oxalato ácido de amonio (Fe_o) extrae hierro amorfo, no cristalino y pobremente ordenado (Smith, 1994) y es selectivo para la ferrihidrita. El pirofosfato de sodio (Fe_p) extrae el hierro que está presente en el suelo como parte de los complejos orgánicos (Smith, 1994).

Algunas relaciones de hierro son usadas para determinar la presencia de estos minerales en el suelo. Fe_o/Fe_d es una medida de la proporción del total de hierro pedogénético (amorfo más ferrihidrita) y la diferencia $Fe_d - Fe_o$ es usada para estimar el hierro en la goethita, y en la lepidocrocita (Acevedo, Cruz & Cruz, 2002); y la Lepidocrocita (6,25A – 3,28A), está reportada en los suelos JS3 y JS4 como trazas.

Cuando la relación Fe_o/Fe_d es mayor a 1, dominan las formas amorfas. Cuando es menor a 1, dominan las formas asociadas a óxidos de hierro; y cuando es $<0,5$, hay mayor Fe asociado a óxidos de hierro como hematita, goetita y lepidocrocita (Acevedo et al, 2002).

Tabla 4. Resultados de la estimación de la cantidad de minerales de hierro (Sánchez-Espinosa, 2017).

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	No. PERFIL	Prof. Cm	Fe_o	Fe_d	Fe_p	Fe_o/Fe_d	$Fe_d - Fe_o$
			(Oxalato) %	(Citrato) %	(Pirofosfato) %		
VALLE GLACIARICO EN U	JS - 1	00 - 28	0,54	0,83	0,45	0,65	0,29
ABANICO COLUVIAL INCLINADO AC	JS - 2	00 - 30	0,86	0,95	1,08	0,91	0,09
		30 - 49	0,96	1,58	1,29	0,61	0,62
		49 - 70	0,54	1,39	0,74	0,39	0,85
		70 - 120	0,71	1,18	0,94	0,60	0,47
ABANICO DILUVIAL DISECTADO - APICE AD1	JS - 3	00 - 23	0,96	1,28	1,02	0,75	0,32
		23 - 54	0,27	0,27	0,22	1,00	0,00
		54 - 70	0,20	1,67	1,34	0,12	1,47
		70 - 92	0,64	1,36	1,09	0,47	0,72
		92 - 120	0,51	3,42	0,51	0,15	2,91
ABANICO DILUVIAL NIVEL SUPERIOR CUERPO AD2	JS - 4	0 - 25	0,04	0,46	0,39	0,09	0,42
		25 - 45	0,35	0,68	0,5	0,51	0,33
		45 - 59	0,35	0,99	0,57	0,35	0,64
		59 - 88	0,25	1,00	0,29	0,25	0,75
		88 - 110	0,20	0,80	0,12	0,25	0,60
	JS - 5	0 - 18	0,28	0,67	0,24	0,42	0,39
		18 - 56	0,21	0,72	0,31	0,29	0,51
		56 - 79	0,17	0,28	0,30	0,61	0,11
		79 - 103	0,17	0,18	0,18	0,94	0,01
		103 - 117	0,14	0,50	0,40	0,28	0,36
ABANICO DILUVIAL NIVEL INFERIOR BASE AD5	JS - 6	0 - 18	0,15	0,19	0,30	0,79	0,04
		18 - 60	0,14	0,27	0,24	0,52	0,13





La tabla 4 muestra que en estos suelos dominan las formas asociadas a óxidos de hierro, destacando que en los suelos JS3 los horizontes 2Btg2, 2Btg3 y 2Btg4, JS4 los horizontes 2Btg1, 2Btg2 y 2Btg3, y JS5 el horizonte 2Btg1 y 2Btg, los valores son < 0.5 , lo que indica que en estos suelos es mucho mayor el contenido de Fe ligado a óxidos de hierro. Esto puede deberse a que la precipitación del hierro, a partir de una solución iónica puede lograrse por oxidación del hierro ferroso en solución, debido a que el producto de solubilidad del hidróxido férrico es mucho más bajo que el del hidróxido ferroso (Taylor, 1990).

La disolución del hierro es originada cuando el Fe^{+3} es reducido a Fe^{+2} por la transferencia de electrones, dada por la condición deficiente de oxígeno, nuevos óxidos de hierro se forman cuando se reintegra el oxígeno al sistema. La principal forma en que se presenta el hierro en el suelo es como óxido e hidróxido Fe^{+3} en forma de pequeños granos de mineral o revestimientos amorfos sobre otros minerales (Acevedo, Ortiz, Cruz & Cruz, 2004). Los minerales de Fe^{+2} son solubles y persisten en suelos que presenten condiciones aerobias. Cuando las condiciones se cambian, se oxida y se precipita como óxido Fe^{+3} (Scheinost y Schwertmann, 1999).

Lo que en resumen muestran estos datos es la evidencia en la variación de la tabla de agua o niveles freáticos, generando tal como se ha indicado procesos de oxidación y reducción en los suelos, algo difícil de presentarse en las condiciones ambientales actuales. Este planteamiento no sólo se apoya en estos resultados, sino también en las observaciones realizadas por Villota (1980) descritas en su perfil P18 (Epiaquic Tropudult) “Los colores grises en los horizontes superiores deben corresponder a un régimen acuíco fósil, pues las características topográficas actuales no favorecen un hidromorfismo tal. Podría tratarse de un paleosuelo hidromórfico dejado o descubierto por la erosión” (Villota, 1980), este perfil corresponde a la unidad AD1 y al suelo JS3 del presente estudio.

Características redoximórficas

Las características redoximórficas, definidas como características asociadas con la humedad e hidromorfismo en el suelo, resultan de la reducción y oxidación del hierro (Fe) después de procesos de saturación y desaturación. Es por esto que los colores rojo, marrón y amarillo en las secciones delgadas se deben a recubrimientos de óxidos de Fe; los colores púrpura oscuro y colores negros se deben a óxidos de Mn, y los colores negros opacos son debido a la materia orgánica. Más específicamente, en nicoles paralelos, la goethita y lepidocrocita son de color amarillo, la hematita es de color rojo y los óxidos de Mn son de color negro (Lindbo et al, 2010). Estas condiciones redoximórficas relacionadas con la marcada evidencia de hidromorfismo en los suelos fueron también corroboradas y reportadas por Faivre (1988), en el valle glaci-fluvial de Guasca Cundinamarca, donde morfológicamente describe la presencia en los horizontes inferiores, de concreciones de gibbsita y manchas de reducción, incluso dice que “la reducción en el horizonte de naturaleza arcillosa es tal que toma un aspecto de plintita” (Faivre, 1988).





Esto indica claramente que en ciertas etapas de formación los procesos pedogenéticos se produjeron en condiciones medioambientales diferentes a las que prevalecen en la actualidad, en alternancia con fases climáticas más húmedas y más secas (Faivre, 19885), lo que se evidencia es que este fue un proceso generalizado que abarco toda la región andina de nuestro país, ver figuras 3 y 4.

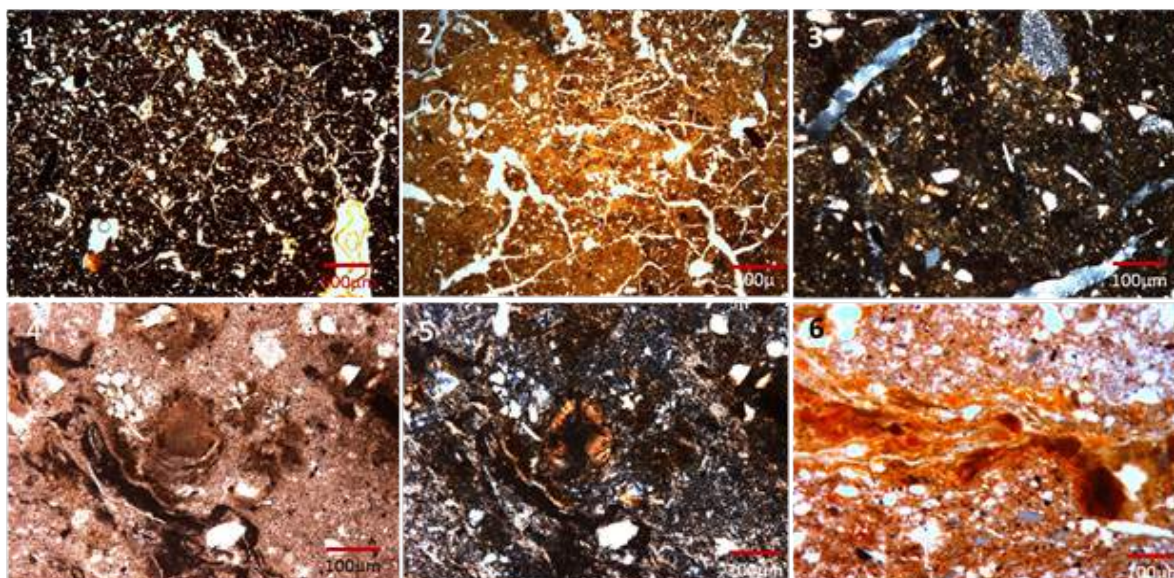


Figura 3. 1: Accumulation of humic substances. Profile JS1 horizon Ah (0-28cm), 2,5x (PPL). 2-3: Fabric of the groundmass stipple speckled b-fabric. Coarse / fine related distribution is porphyric. Subangular blocks are present separated by channels and flat. Profile JS2 horizon Ap (30 – 49 cm) (2,5x PPL and 10x XPL). 4-5: Dusty clay coating, not directly related to the pore system, and striated b-fabric. Profile JS2 horizon 2Btg2 (70-120 cm), (PPL and XPL). 6-7: Microlaminated clay and Fe-oxide intercalations. Profile JS3 horizon 2Btg2 (54-70 cm) (PPL and XPL) (Sánchez-Espinosa, 2017)

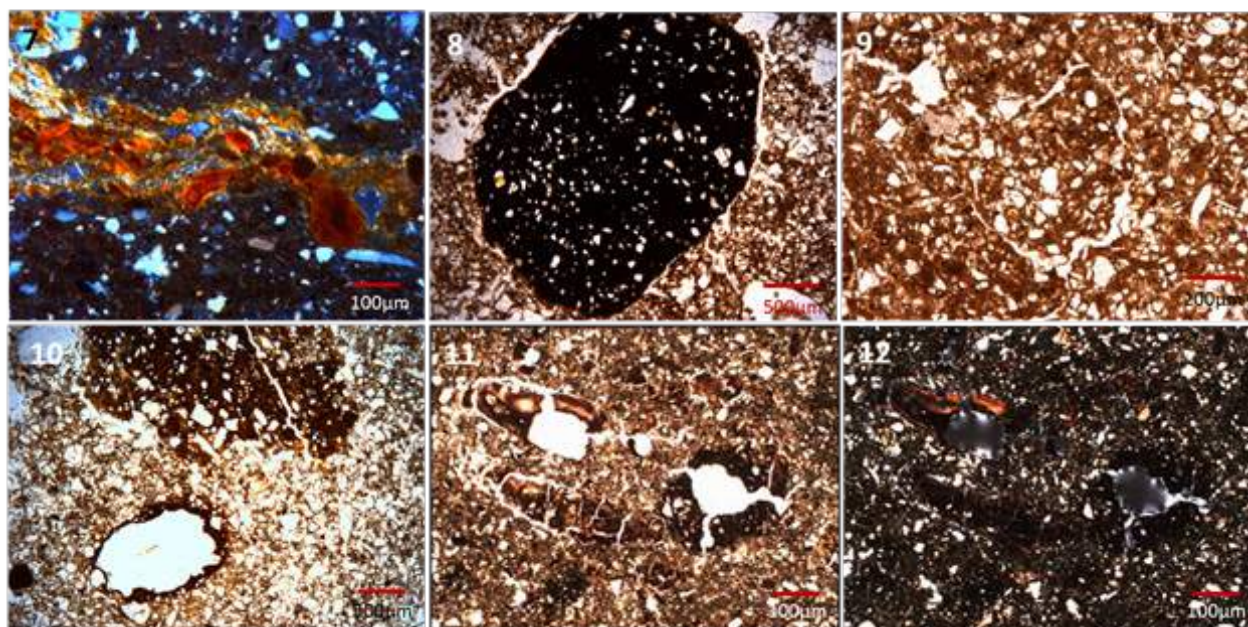


Figura 4. 8: Rounded disorthic Fe nodule. Profile JS4 horizon AB (24-36cm), (PPL). 9: Red colours due to Fe-oxides in the groundmass. Aggregates are partially separated by planar pores. Profile JS4 horizon 2Btg1 (38-49cm), (PPL). 10: Ferruginous hypocoating on a pore (down) and orthic impregnating nodule (up) indicating a stagic pattern. Profile JS5 horizon Ap (0 – 18 cm) (PPL). 11-12: Coatings of microlaminated clay and iron hypocoatings of Fe. . Profile JS6 horizon Bt (18 - 60 cm) (PPL and XPL) (Sánchez-Espinosa, 2017)





Suelos poligenéticos

Por otra parte está la formación del abanico, teniendo en cuenta el significado mismo de diluvial, el cual está relacionado con alta torrencialidad, producto de sucesivos flujos de materiales sobre los cuales se depositaron capas más delgadas de aluviones y ceniza volcánica. De acuerdo con Khobzi & Usselman (1973), el abanico no presenta características únicas de un depósito fluvio-glaciario. Pero una fuente menor de sedimentos debe atribuirse a materiales retransportados por las aguas producto del deshielo de las partes altas. Sobre estos materiales posteriormente se depositaron capas más delgadas de aluviones y unos mantos de ceniza volcánica provenientes del complejo Ruiz-Tolima de la cordillera Central, los cuales probablemente cayeron entre 30.000 y 9.000 años A.P., (Van der Hammen; Van Geel 1974) y quizás continuaron hasta el siglo XVI de nuestra era, cuando tuvo lugar una de las últimas erupciones importantes del volcán del Ruiz (Van der Hammen; Van Geel 1974).

En principio estos sedimentos colmataron y formaron una gran cubeta sometida a procesos sucesivos bajo condiciones de alternancia de periodos húmedos y secos, evidenciados en la actualidad por la presencia de condiciones redoximórficas en los suelos características asociadas a periodos de fuerte hidromorfismo. La formación de los suelos implica y corrobora dos aspectos importantes: el primero el efecto significativo de los cambios climáticos del Cuaternario (Van der Hammen, 1992) asociado a una geoforma de cubeta, ya que se presentan suelos poligenéticos o policíclicos; y el segundo referido a las grandes influencias climáticas de muy alta precipitación alternando con periodos secos y/o semiáridos. Pero la configuración misma del abanico se debe —de acuerdo con Jungerius (1976)— a la remoción por tectonismo y subsecuente depositación de la masa de sedimentos de Pasca y Fusagasugá, lo cual ya había sido señalado por De Porta (1965), producto del basculamiento hacia el oriente y con el borde occidental hundido de las estructuras sedimentarias, como repuesta a la adaptación tectónica.

Modelo evolutivo actual

En la figura 5 se muestra el modelo evolutivo de los suelos actuales. El modelo pretende sintetizar las principales ideas relacionadas con los factores y procesos formativos, los suelos resultantes, su taxonomía y las propiedades derivadas de su génesis y evolución. Finalmente el modelo trae un comentario relacionado con su aptitud de uso y manejo más adecuados para la preservación de este paisaje, dada su alta susceptibilidad al deterioro.

Desde el punto de vista físico, los procesos de compactación y la baja capacidad de retención de agua tanto a capacidad de campo como en el punto de marchitez permanente son preocupantes. La baja cantidad de materia orgánica de los suelos del ápice, cuerpo y base del abanico, medida en términos del contenido de carbono orgánico, hacen que cada vez estos suelos se enrumben hacia el incremento de los procesos de deterioro y





degradación. Preocupa a su vez, el crecimiento incontrolado y desbordado de urbanizaciones que ya no sólo se ubican en el abanico mismo, sino también en las áreas de los taludes complicando aún más la situación.

La influencia de los materiales no consolidados sobre los cuales se asientan estas poblaciones y la influencia de las cenizas volcánicas en las partes altas, condicionan los fenómenos erosivos asociados a los efectos del agua, al aumentar la inestabilidad de la terraza, situación que se padece año tras año durante las épocas de alta pluviosidad. Es necesario entonces, en consenso con la población mediante la participación ciudadana, definir los usos más adecuados y las áreas de expansión urbanística; sólo así y mediante una rigurosa estrategia de planificación territorial, permitirá establecer las pautas más convenientes y racionales para su uso y manejo, cuyo propósito fundamental es la protección del ecosistema y sus comunidades.

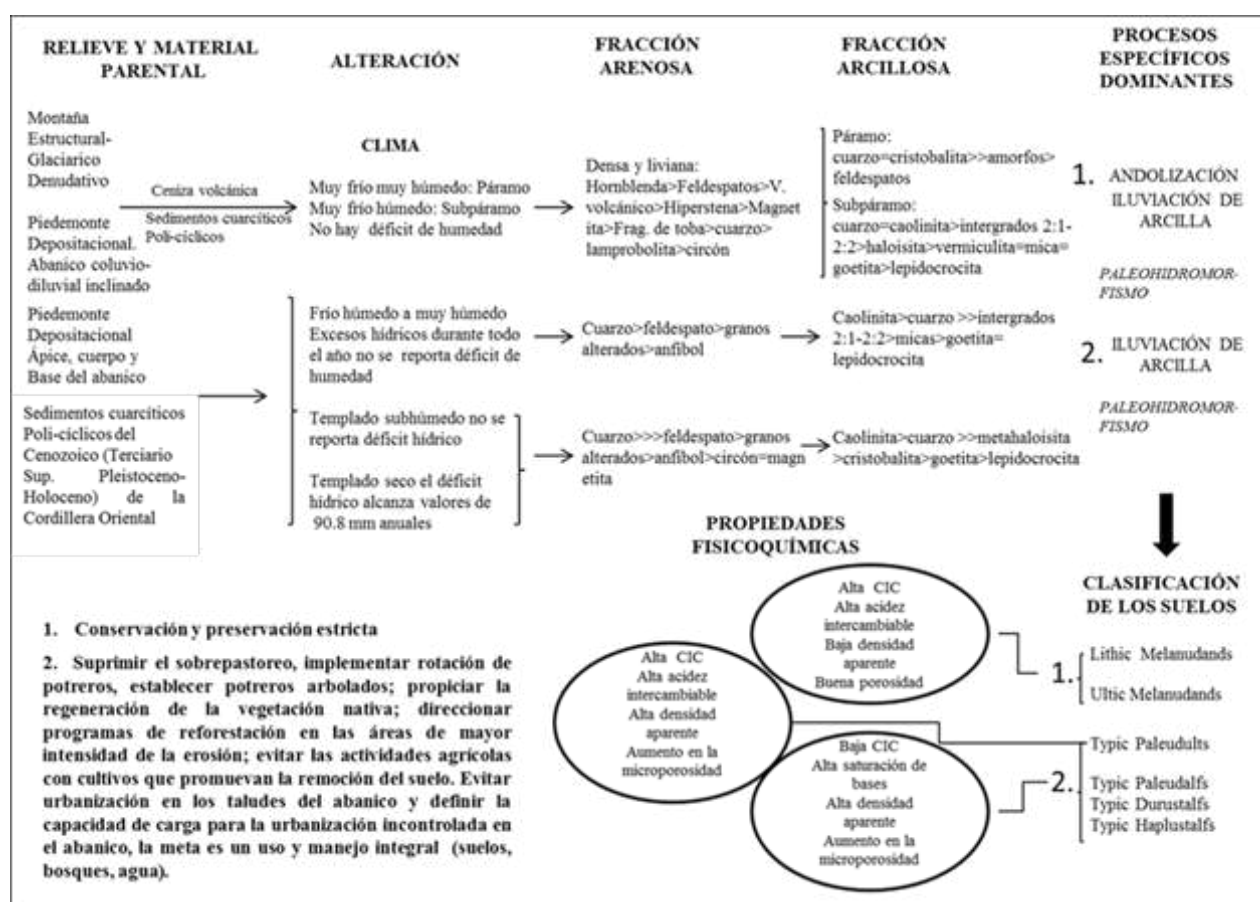


Figura 5. Modelo evolutivo de los suelos del abanico diluvial de Fusagasugá (Sánchez-Espinosa, 2017)





Conclusiones

1. Los procesos dominantes, como la iluviación y la oxidación-reducción, evidenciados por la presencia de edaforrasgos redox (condiciones redoximórficas), debieron darse en alternancia con la iluviación de arcilla. Este proceso estuvo fuertemente favorecido por las estaciones secas y húmedas bien marcadas.
2. Las etapas de formación de procesos pedogenéticos que han dejado su huella en los perfiles se produjeron en condiciones medioambientales diferentes a las que prevalecen en la actualidad, en alternancia con fases climáticas más húmedas y más secas. Con esto se muestra que este fue un proceso generalizado que abarcó toda la región andina de nuestro país.
3. El abanico de Fusagasugá fue una gran cubeta sedimentaria, compuesta por materiales depositados transportados y retransportados desde la parte alta de la región de Pasca con características de un flujo diluvial con claro sorteamiento. Posteriormente, movimientos tectónicos afectaron la región durante las manifestaciones orogénicas del Pleistoceno y configuraron el relieve actual. Este fue disectado por los ríos Panches y Cuja y otros cauces, conformando el cuerpo principal del plano diluvial con un espesor de 180 m y en su base de 420 m., el cual fue afectado por periodos contrastantes secos y húmedos y basculado por eventos tectónicos entre 30.000 años AP y consolidado finalmente hace 10.000 años AP. Por lo tanto, el abanico de Fusagasugá corresponde a una planicie de cuenca sedimentaria basculada por tectonismo, pero con características geomorfológicas de un abanico diluvial.
4. El estudio micromorfológico aporta pruebas concluyentes acerca de los modelos de rasgos redoximórficos, principalmente el estágnico en horizontes superiores, y el gléyico en horizontes inferiores. Esto confirma el movimiento vertical del agua desde los horizontes inferiores por una capa freática.
5. Revestimientos de caolinita en moteados coexisten con revestimientos microlaminados, en algunos casos en el mismo horizonte, dos generaciones u orígenes de revestimientos. A partir de capas orgánicas lacustres y a partir de arcilla iluviada desde horizontes superiores, señalando el posible origen pantanoso.

Agradecimientos

A la Subdirección de Agrología y al Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.





Bibliografía

- Acevedo, O., Cruz, M., & Cruz, E. (2002). Distribución de óxidos de Fe, Al y Si en horizontes endurecidos de origen volcánico. *Agrociencia*, 36, pp. 401-409.
- Acevedo, O., Ortiz, E., Cruz, M., & Cruz, E. (2004). El papel de óxidos de hierro en suelos (Role of Iron Oxides in Soils). *TERRA Latinoamericana* 22(4), pp.385-497.
- Benavides, S.T. (1973). *Mineralogical and chemical characteristics of some soils of the Amazonia of Colombia*. Thesis Ph.D, Department of Soil Science. Raleigh, Carolina Del Norte.
- Benayas De Rey, J. (1982). *Atlas de micromorfología de suelos e introducción a la micromorfología*. Monografías de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos N. 84. Madrid 87p.
- Brewer, R. (1964). *Fabric and mineral anlysis of soils*. Jhon Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., & Tursina, J. (1985). *Handbook for soil thin section description*. Inglaterra: Waine Research Publications..
- Bürgl, H. (1957). Bioestratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores. *Bol. Geo. Serv. Geo. Col.* 5(2):113-185.
- Comerma, J.A. (1968). *Characteristics and genesis of two soil associations in North-Central Venezuela*. Tesis de doctorado , Departamento de ciencias de la tierra, Universidad del Estado de Carolina del Norte en Raleigh.. University Inc., Ann Arbor, Mich.
- Dahlgren, R.A. (1994). *Quantification of allophane and imogolite*. pp. 430-451. In: Amonette, J.E. y L.W. Zelazny (Eds.). Quantitative methods in soil mineralogy. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Da Porta, J. (1965). Estratigrafía del Cretáceo Superior y el Terciario en el extremo sur del valle medio del río Magdalena. En: *Boletín de geología No. 19*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Faivre, P. (1988). *Lessivage et planosolisation dans les sequences de sols caracteristiques des milieux intrandins de Colombie (Amérique du sud)*. Tesis doctoral. Universidad de Nancy, Francia.



- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1995). *Suelos de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos*. Subdirección de Agrología, Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*. Subdirección de Agrología. Bogotá D.C. Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2009). *Estudio semidetallado de suelos, Municipio de Fusagasugá*. Subdirección de Agrología. Bogotá D.C. Colombia.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - Ingeominas. (2001). *Memoria explicativa plancha 246 Fusagasugá*. Bogotá D.C. Colombia.
- Jungerius, P.D. (1976). Quaternary landscape development of the Rio Magdalena basin between Neiva and the quaternary of Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 19(2), pp. 89-137
- Khobzi, J., & Usselman, P. (1973). Problemes de géomorphologie en Colombie. *Revue de Geographie Physique et de Geologie Dynamique* 15(1-2), pp. 193–206
- Lindbo, D.L; Stolt, M.H; Vepraskas, M.J. (2010). Redoximorphic Features. En: *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Georges Stoops, Vera Marcelino and Florias Mees (Eds) Elsevier.
- Martini, J.A. (1970). Allocation of cation exchange capacity to soil in seven surface soils from Panama and the application of a cation exchange factor as a weathering index. *Soil Sci.* 109, pp. 324-331.
- Mehra, O.P., & Jackson, M.L. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered by sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*. 7, pp. 317-327.
- Parfitt, R.L., & Childs, C.W. (1988). Estimation of forms of Fe and Al: A review and analysis of contrasting soils by dissolution and Mossbauer methods. *Australian J. Soil Res.* 26:, pp. 121-144.
- Poch, R. M. (2014). *Descripción Micromorfológica de secciones delgadas en el Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC*. Bogotá Colombia.



- Sánchez-Espinosa, J. (2017). *Mineralogía y génesis de los suelos desarrollados sobre materiales no consolidados en el abanico diluvial de Fusagasugá, Colombia*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia.
- Scheinost, A.C., & Schwertmann, U. (1999). Color identification of iron oxides and hydroxysulfates: Use and limitations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, pp. 1463-1471.
- Smith, B.F.L. (1994). *Characterization of poorly ordered minerals by selective chemical methods*. En: Wilson, M.J. (ed.). *Clay mineralogy spectroscopic and chemical determinative methods*. Londres: Chapman and Hall.
- Schwertmann, U. (1985). Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. En: Stucki, J.W., B.A. Goodman y U. Schwertmann (eds.). *Iron in soils and clay minerals. NATO ASI Series C217*. Holanda: D. Reidel Publishing Company.
- Soil Survey Staff. (2011). *Soil Survey Laboratory Information Manual. Soil Survey Investigations Report No. 45, Version 2.0*. R. Burt (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service .
- Soil Survey Staff. (2014). *Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. p.186 y 518.
- Stoops, G. (2003). *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*. Madison, WI: Soil Sci. Soc. Am.,
- Taylor, R.M. (1990). Some observations on the formation and transformation of iron oxides. En: De Boodt, M.F., M.H.B. Hayes y A. Herbillon (eds.). *Soil colloids and their associations in aggregates*. New York: Plenum Press.
- Van Der Hammen, T., & Van Geel, B. (1974). Upper quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern cordillera, Colombia). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 14, pp.9-912.
- Van Der Hammen, T. (1992). *Historia, Ecología y Vegetación*. Fondo FEN Colombia, Corporación Colombiana para la Amazonia – Araracuara- Fondo de Promoción de la Cultura. Bogotá, D.C.





- Villota, H. (1980). *Una Metodología para el Análisis Fisiográfico en las Zonas Montañas del Trópico aplicada al Levantamiento General de Suelos del sector Pasca-Girardot, Cundinamarca, Colombia*. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences – ITC (Tesis Magister). Enschede, Holanda.
- Zinck, A. (2012). *Geopedologia Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC Special Lecture Notes Series. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Zhang, M., Alva, A.K., Li, Y.C., & Calvert, D.V. (1997). Fractionation of iron, manganese, aluminium and phosphorus in selected sandy soils under citrus production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61(3), pp. 794-801.





LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS

En la sede central del IGAC, ubicada en Bogotá, existe un lugar donde los usuarios llevan las muestras de suelo, compost, tejido vegetal y agua para diagnóstico.

Se trata del **Laboratorio Nacional de Suelos**, un lugar en donde se realizan análisis físicos e ingenieriles, químicos, biológicos, mineralógicos y micromorfológicos de suelos, calidad de agua para riego, fitopatología, análisis de abono y compost, recomendaciones técnicas para cultivos (enmiendas y fertilización) e investigación aplicada con base en estas temáticas.

RESULTADOS OFRECIDOS

En razón de su experiencia analítica, el Laboratorio Nacional de Suelos ofrece una amplia gama de análisis con estándares de calidad. Cuando el cliente lo solicita se realiza una interpretación y/o recomendación general.

ANÁLISIS FÍSICOS E INGENIERILES

Las **propiedades físicas** involucran cada una de las bases de formación del suelo y desarrollo del perfil y permiten evaluar aspectos edáficos, taxonomía, fertilidad, riego, drenaje, manejo y conservación.

En el campo ingenieril, los análisis permiten conocer la aptitud de los materiales para su utilización y aprestamiento.

ANÁLISIS QUÍMICO

Determina y cuantifica los nutrientes del suelo. Estos análisis se realizan para **establecer el estado nutricional del suelo y determinar su calidad agrícola**. Con esta información se toman decisiones para el mejoramiento de los suelos y cultivos mediante el uso de enmiendas de fertilizantes o de abonos orgánicos.

ANÁLISIS BIOLÓGICO

La evaluación de las poblaciones biológicas permite **reconocer el estado nutricional y de salubridad de un suelo**. Las bacterias, hongos, algas y fauna del suelo son considerados los principales responsables de la degradación de la materia orgánica y de la liberación de los nutrientes, lo que condiciona la fertilidad y capacidad de sustento de las plantas.

ANÁLISIS DE AGUA PARA RIEGO

Consta de dos análisis, **químico y biológico**. El primero cuantifica la concentración y composición de los iones que determinan la calidad del agua para riego, mientras que el segundo detecta indicadores de riesgo sanitario, lo que vierte sobre su aplicabilidad en el campo agrícola y pecuario.

ANÁLISIS MINERALÓGICO Y MICROMORFOLÓGICO

El análisis mineralógico evalúa las fracciones de arena y arcilla lo que permite apoyar el reconocimiento de la génesis, la taxonomía y la fertilidad potencial de un suelo.

Por su parte, con la caracterización micromorfológica se reconoce la microestructura del suelo, siendo de gran utilidad en la clasificación taxonómica.

ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

Permite **evaluar el ambiente nutricional suelo-planta**, al confirmar el requerimiento de un nutriente particular especificando un tratamiento correctivo.

Con un análisis químico, se determinan los elementos nutritivos presentes en diferentes partes de la planta y de esta forma se pueden implementar planes de fertilización y mantenimiento de cultivos. También se evalúa la posible existencia de patógenos que atacan las plantas (hongos, bacterias y nemátodos) y según requerimiento se procede con su identificación.

IDESC: experiencia de éxito en la gestión de la información geográfica de Santiago de Cali

IDESC: Successful experience in the management of the geographical information of Santiago de Cali

Robin Alexis Olaya¹

Resumen

Desde el 2008, la Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali (IDESC) ha buscado resolver inconvenientes relacionados con la gestión de la información geográfica (IG) oficial del municipio, tales como duplicidad de esfuerzos, falta de integración de la información, diversidad de sistemas de coordenadas, incompatibilidad entre los mismos, problemas de nomenclatura, falta de documentación de la información (metadatos) y ausencia de estándares y protocolos para la gestión de la información geográfica, entre otros.

Es por ello que el municipio comenzó a trabajar en el desarrollo de componentes básicos de una infraestructura de datos espaciales (IDE) con la participación de las dependencias de la administración municipal y las instituciones de la ciudad, lo cual permitió armonizar procesos de captura, análisis, acceso, uso y distribución de la IG para promover el intercambio de datos espaciales y dotar a la comunidad de herramientas para la planificación y la toma de decisiones (Masser, 2008).

La IDESC ha avanzado a través de la implementación de documentos normativos, convenios con entidades, conformación de nodos de IG y de la puesta en marcha de productos y servicios interoperables, convirtiéndose así en un referente en conceptos de SIG e IDE y en la primera opción para la búsqueda de IG oficial del municipio de Santiago de Cali. No obstante, aún falta trabajo por realizar tanto en el desarrollo de componentes básicos como en la apropiación de diferentes herramientas y servicios por parte de la comunidad. Es por ello que se trabaja en la adquisición de nuevas tecnologías, tales como aplicaciones para dispositivos móviles, sistemas RPAS para generación de cartografía, SIG en la nube e información geográfica voluntaria (VGI), entre otros avances.

Palabras clave: infraestructura de datos espaciales, sistemas de información geográfica, gestión de información geográfica, planificación, toma de decisiones, políticas, estándares, protocolos, geoservicios, Santiago de Cali.

1. Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica. Alcaldía de Santiago de Cali, Departamento Administrativo de Planeación Municipal, Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali (IDESC). Correo: robin.olaya@cali.gov.co; robalexo@gmail.com.





Abstract

Since 2008, The Spatial Data Infrastructure of Santiago de Cali (IDESC) has tried to sort out problems related to the official geographical information (GI) management of Santiago de Cali, such as: duplicity efforts, lack of integration of GI, misunderstanding and incompatibility of reference systems, particularly by unskilled users, problems with the street addresses, lack of metadata and other standards for geographical information, among others.

Therefore, The IDESC Project started up the development of its basic components in junction with either local institutions and organisms of the Municipality. This scenario allowed us to reach the harmonization of capture processes, analysis, access, use and distribution of GI, in order to promote the use and the exchange of spatial data and provide to the community with tools for planning and decision-making (Masser, 2008).

IDESC has moved forward through the implementation of globally accepted best practice rules for GI management, defining normative documents, agreements with local institutions for sharing knowledge and GI, as well as being a support for the construction of nodes for the SDI and delivering geospatial data through OGC standards-based web services. We have become a reference for issues related to GI, being the first option for searching official GI of the Municipality. Nevertheless, there are plenty of work to be done, we have to carry on developing basic components and in the appropriation of different tools and services for the community. Our near-term work is focused in adopting new technologies, just as: mobile apps, RPAS for mapping generation, Cloud GIS, volunteered geographical information (VGI), and other advances.

Keywords: *Spatial Data Infrastructure, Geographic Information Systems, Geographic Information Management, planning, decision making, policies, standards, protocols, geoservices, Santiago de Cali.*





Introducción

Desde el auge de las tecnologías de la información y las comunicaciones, y en especial desde la aparición de las herramientas informáticas para los sistemas de información geográfica (SIG), las dependencias que conforman la administración del municipio de Santiago de Cali han realizado esfuerzos aislados para el diseño, la captura, el procesamiento y el análisis de información geográfica mediante herramientas SIG. Sin embargo, el emprender iniciativas de manera independiente ocasionó el fraccionamiento de la información, lo cual generó inconvenientes para su gestión tales como duplicidad de esfuerzos, falta de integración de la información, utilización de diversos sistemas de coordenadas, incompatibilidad de los sistemas de coordenadas utilizados, problemas de nomenclatura, falta de documentación de la información, ausencia de estándares para la gestión de datos e inexistencia de protocolos de seguridad para la gestión de la información.

La interacción de estos problemas dificulta el diagnóstico del territorio requerido para las tareas de planificación que se realizan sobre la ciudad. Es por estos antecedentes que la administración municipal formuló el proyecto “Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali - IDESC” como una iniciativa cuyo objetivo principal es la unión de entidades y recursos tecnológicos para la definición de políticas, normas y estándares que permitan armonizar los procesos de captura, análisis, acceso, uso y distribución de la información geográfica del municipio de Santiago de Cali. La IDESC permitirá establecer un entorno de interoperabilidad y coordinación entre las instituciones involucradas en la iniciativa, mejorando así la eficiencia en su gestión y brindando herramientas para la planificación y la toma de decisiones en beneficio del desarrollo económico, social y ambiental del municipio de Santiago de Cali.

Para implementar la IDESC, en la fase inicial se involucraron algunas instituciones y se construyeron tres mesas de trabajo que se encargan de desarrollar los componentes de las políticas de información geográfica, el núcleo de datos, los estándares, los metadatos y los servicios. Mediante reuniones periódicas de las mesas de trabajo, los representantes de las instituciones definen acuerdos y tareas que se replican posteriormente al interior de cada institución para, de esta manera, construir el nodo principal de la IDESC y el de cada entidad. A continuación se presentan los resultados parciales del proceso.

Desarrollo teórico y metodológico

Para implementar la IDESC, en la fase inicial se realizaron diversas presentaciones del proyecto ante las dependencias de la administración municipal y ante entidades públicas y privadas con el fin de buscar su vinculación y participación. También se realizó la divulgación a través de volantes, página web, redes sociales, noticias y con la participación en diferentes eventos relacionados con información geográfica. Finalmente, se firmaron actas de acuerdo para la implementación de la IDESC entre las entidades que hoy día la conforman.

A partir de esto se conformaron tres mesas de trabajo en las que participaron representantes de las dependencias y entidades vinculadas, las cuales se encargaron de desarrollar los componentes de:





- Políticas de información geográfica: definió las políticas locales para la gestión de la información geográfica (IG) y estableció las reglas de juego entre las entidades que conforman la IDESC (Alcaldía de Santiago de Cali, 2011). Trabajó con el acompañamiento de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), y la definición de las políticas fue desarrollada conforme a los principios que establecen los documentos CONPES 3585 “Consolidación de la política nacional de información geográfica y la ICDE” (Departamento Nacional de Planeación, 2009) y la primera circular COINFO (Comisión Intersectorial de Políticas y Gestión de la Información para la Administración Pública [COINFO], 2009).
- Núcleo de datos fundamentales, estándares y metadatos: definió el conjunto de datos espaciales fundamentales, que son los pilares sobre los cuales se construyó la IDESC. Además se encargó de definir los mecanismos para la adopción de los estándares de IG usados a nivel nacional y la implementación de los metadatos.
- Servicios: definió los servicios que se prestan tanto para la comunidad como para los nodos vinculados a esta. También trabajó en los protocolos, los estándares y las reglas de autenticación y de seguridad bajo los cuales deben prestarse dichos servicios, todo enmarcado en el contexto de la interoperabilidad. Además, definió los diferentes procesos de transferencia tecnológica a los nodos de la IDESC para que estos se encarguen de alimentar y actualizar la información, garantizando así la sostenibilidad de la misma (Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales [ICDE], 2009).

Los componentes básicos de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) se muestran en la figura 1.

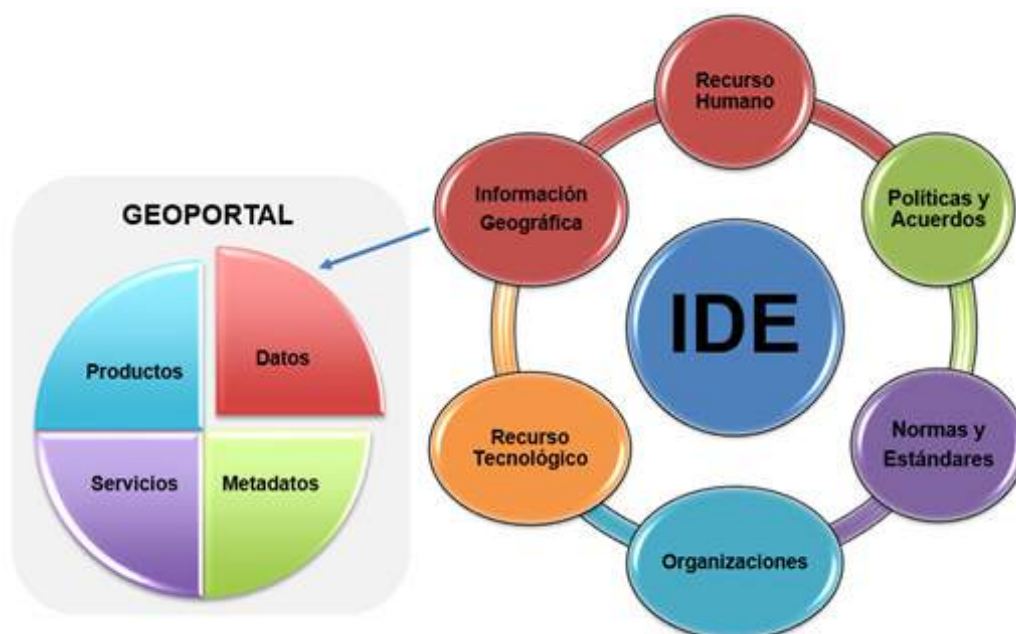


Figura 1. Estructura de una IDE
Fuente: IDESC, 2017.

Organizaciones

Además de la mayoría de las dependencias de la administración municipal, a la IDESC se encuentran vinculadas las siguientes organizaciones (figura 2).



Figura 2. Organizaciones vinculadas a la IDESC
Fuente: IDESC, 2017.

- EMCALI EICE E.S.P.: empresa prestadora de servicios públicos (energía, acueducto, alcantarillado y telecomunicaciones). Es la empresa de mayor cobertura en el municipio.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC): es la entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia, elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble, realizar el inventario de las características de los suelos, adelantar investigaciones geográficas como apoyo al desarrollo territorial, capacitar y formar profesionales en tecnologías de información geográfica y coordinar la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales. La Territorial Valle es la encargada de lo relacionado con el municipio de Santiago de Cali.
- Observatorio de Conflictos Ambientales Urbanos (OCAU): busca aportar en la identificación, el seguimiento y la solución de problemas ambientales susceptibles de convertirse en conflictos ambientales urbanos.
- Universidades del Valle, ICESI y San Buenaventura.
- Metro Cali S.A.: empresa encargada de gestionar el diseño, la construcción y la puesta en marcha del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM).
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC): ejerce la autoridad ambiental y promueve el desarrollo sostenible desde la dimensión ambiental.
- Empresa Municipal de Renovación Urbana (EMRU): encargada de ejecutar acciones urbanas integrales y desarrollar programas y proyectos derivados de las políticas y estrategias contenidas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Santiago de Cali.



- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE): tiene como propósito la producción y la difusión de investigaciones y estadísticas en aspectos industriales, económicos, agropecuarios, poblacionales y de calidad de vida encaminados a soportar la toma de decisiones. La Dirección Territorial Suroccidente es la encargada de lo relacionado con el municipio de Santiago de Cali.
- Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente (OSSO): realiza y promueve la docencia, la investigación y la extensión en sismología, geofísica e ingeniería sísmica para aportar personal calificado, información y conocimientos a la comunidad del suroccidente colombiano para la prevención, la mitigación de posibles situaciones de desastres por fenómenos de origen geofísico y la reducción de la vulnerabilidad en la región.
- Cámara de Comercio de Cali: encargada de registrar las empresas existentes en Cali, las empresas y profesionales independientes interesados en contratar con el Estado, las entidades privadas sin ánimo de lucro y las empresas del sector turismo.
- Curadurías: son particulares encargados de estudiar, tramitar y expedir licencias urbanísticas a petición del interesado en adelantar proyectos de esta índole. Debe verificar y comprobar que los proyectos sometidos a su consideración cumplan con las normas urbanísticas y de sismorresistencia vigente; solamente cuando la solicitud se ajuste a dichas normas se expedirá la correspondiente licencia.

La IDESC también se encuentra vinculada o articulada con otras instituciones o entidades de orden local, nacional y regional:

- Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital (IDECA), con la cual se establecieron lazos de integración y colaboración, de manera que se puedan desarrollar temas o proyectos de interés común para las partes, tales como: participar en capacitaciones relacionadas con IG, intercambiar saberes y debilidades y aprovechar los canales web de cada IDE, entre otros asuntos.
- Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE): la IDESC, al ser una iniciativa de orden local, converge hacia la IDE de orden superior, en este caso, la ICDE, la cual, a su vez, ha facilitado el acompañamiento, la asesoría, la capacitación y los recursos tecnológicos durante el proceso de implementación de la ID.
- Programa GeoSUR: se acordó el desarrollo de actividades conjuntas que facilitó el acceso a la IG de Santiago de Cali a través del Portal de GeoSUR, así como el intercambio de experiencias y saberes en temas relacionados con la gestión de la IG del municipio.

Avances

Entre los principales productos y servicios de la IDESC se encuentran:

- Geoportal IDESC: portal web geográfico donde se ofrecen los productos y servicios de la IDESC. Permite acceder a información sobre el proyecto: normatividad, informes de avances, descargas (mapas, documentos, herramientas) y acceso a servicios y noticias, entre otros (figura 3).



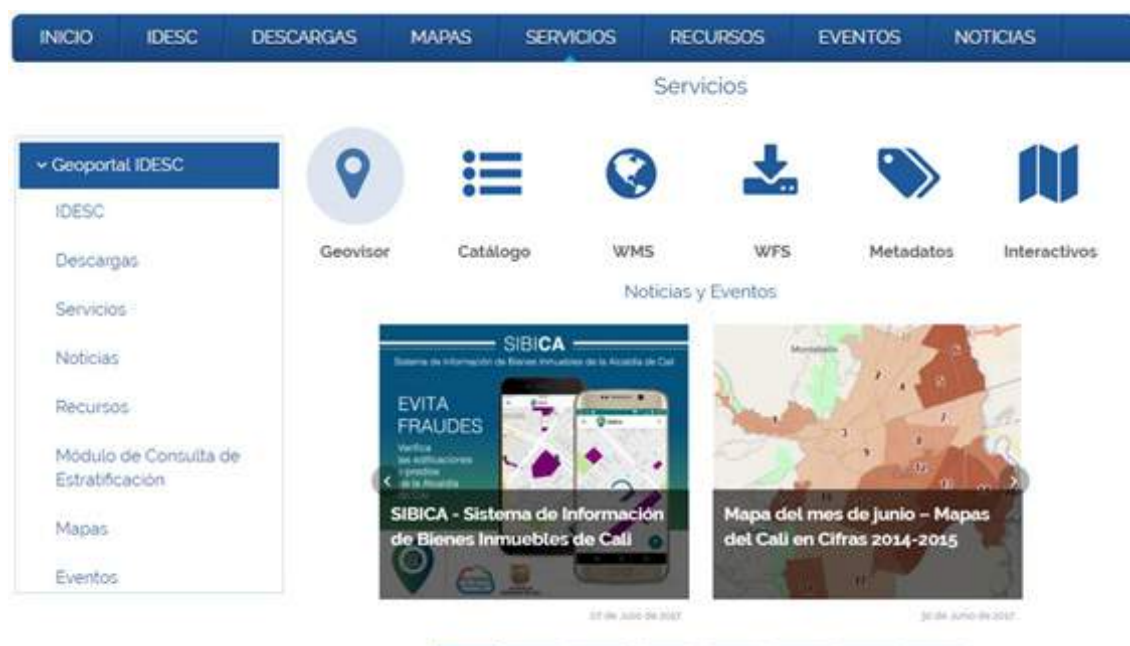


Figura 3. Geoportal IDESC

Fuente: IDESC, 2009.

- Geovisor IDESC: visor web geográfico que permite desplegar la IG oficial del municipio y que cuenta con algunas herramientas de localización, consulta y descarga.
- SWAMI: Sistema Web de Administración de Metadatos Institucional, el cual cumple con la Norma Técnica Colombiana NTC 4611. Fue suministrado mediante un convenio entre el IGAC y el municipio.
- Catálogo: permite consultar y previsualizar los datos geográficos disponibles. Fue implementado mediante Geoserver, un software web que permite publicar datos interoperables utilizando estándares abiertos.
- Servicios WMS y WFS: servicios web geográficos del municipio, construidos bajo estándares del Open Geospatial Consortium (OGC).

El desarrollo que ha tenido el proyecto IDESC puede observarse en la siguiente línea de tiempo, en la cual se muestran los avances más relevantes (figura 4).



Figura 4. Línea de tiempo de la IDESC

Fuente: IDESC, 2016.



Otros avances

- Se establecieron actas y convenios con diferentes entidades para intercambiar IG, así como experiencias, capacitaciones y saberes.
- Se expidieron decretos municipales para conformar y fortalecer la IDESC, para que esta pueda tener continuidad en la implementación de sus diferentes componentes.
- En septiembre del 2015, se realizó la adopción de MAGNA-SIRGAS origen Cali mediante un decreto municipal y también se implementó la nueva Red de Control Geodésico (RCG), la cual trae beneficios asociados a la calidad posicional de la información geográfica generada en campo, que es utilizada, por ejemplo, en el trazado y la construcción de carreteras, el control de obras de ingeniería y la generación de cartografía básica y temática, entre otras.
- Se realizó la migración de la IG al sistema de coordenadas cartesianas MAGNA-SIRGAS origen Cali, y también se desarrollaron herramientas y procedimientos que facilitan a los usuarios el cambio de un sistema de coordenadas a otro.
- Se realizan, de manera continua, socializaciones y capacitaciones en gestión de la IG a las entidades vinculadas.
- Se publicó el Mapa Físico-Turístico, el cual sirve a propios y visitantes para facilitar la identificación de los principales sitios turísticos, tales como bibliotecas, monumentos, museos, parques, plazas, catedrales, centros comerciales, sitios de recreación y ocio, restaurantes, salas de cine, hoteles, teatros, equipamiento de seguridad, sistema de transporte y sitios de interés cultural, entre otros.
- Se actualizaron y publicaron los mapas de las divisiones político-administrativas y los mapas de las comunas de la ciudad.

También se produjeron los siguientes documentos técnicos:

- Lineamientos para la producción de IG: es un documento que describe las especificaciones básicas para la generación de la información digital y análoga de cada proyecto y especifica cómo se debe entregar la información geográfica producida para la administración municipal.
- Catálogo de objetos y símbolos de la IDESC: este documento permite determinar la estructura para organizar los tipos de objetos geográficos, sus definiciones, características y representación para revisarlos, actualizarlos, integrarlos y homologarlos con otro conjunto de datos geográficos. El catálogo de objetos se basa en la Norma Técnica Colombiana NTC 5661 de 2010 (Icontec, 2010).
- Lineamientos para el uso de la RCG: es un documento técnico que brinda lineamientos generales para el uso de la red de control geodésico en los procesos relacionados con levantamientos de información georreferenciada, tanto con tecnología GNSS como con equipos topográficos tradicionales.





Acompañamiento técnico

La IDESC tiene actividades relacionadas con el acompañamiento y la asistencia técnica en la gestión de la información geográfica para las dependencias y entidades vinculadas (figura 5). A continuación se describen las más importantes:

- Secretaría de Deporte y Recreación: la IDESC apoya la estructuración, la georreferenciación, la construcción y el almacenamiento para la posterior publicación del Mapa de Escenarios Deportivos del Municipio.
- Secretaría de Cultura y Turismo: apoyó en la construcción del Mapa Turístico, el de Rutas y Zonas Turísticas y publicó el Mapa de la Infraestructura Física Cultural, el cual muestra la red de bibliotecas públicas, algunos sitios turísticos y los bienes de interés cultural patrimonial.
- Secretaría de Educación Municipal: apoyó la georreferenciación, la actualización y la publicación del Mapa de Instituciones Educativas Oficiales y Privadas. Actualmente brinda directrices para el inicio del proceso de revisión y actualización de la información geográfica y alfanumérica de las instituciones educativas.
- Secretaría de Infraestructura y Valorización: la IDESC apoyó la construcción de su propio catálogo de objetos y la estructuración y publicación del trabajo de mantenimiento y rehabilitación de la malla vial del municipio. También apoyó la publicación del mapa que contiene la información del Sistema de Información Geográfico de Puentes (SIG-Puentes).
- Secretaría de Salud Pública: apoya la georreferenciación y publicación de los análisis del Sistema de Vigilancia en Salud Ambiental (SISVEA), el cual trabaja con casos de enfermedades respiratorias agudas (ERA), asma, enfermedad diarreica aguda (EDA) y dengue en niños menores de cinco años. También apoya a otros grupos de trabajo con la geocodificación de información y se está trabajando para su publicación.
- Secretaría de Tránsito y Transporte: apoyó la puesta en funcionamiento de los servicios que permiten la ubicación de los accidentes y eventos de tránsito, los cuales son utilizados por el Centro de Gestión del Tránsito.
- Subdirección de Bienes Inmuebles: apoyó la construcción de su propio catálogo de objetos geográficos y la estructuración y publicación de la IG de los predios de propiedad del municipio.
- Subdirección de Ordenamiento Urbanístico: la IDESC apoyó la georreferenciación, la consulta y el acceso a la información geoespacial oficial del municipio requerida durante la implementación del trámite de usos del suelo a través del aplicativo web SAUL, que permite automatizar y agilizar el trámite.
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA): apoyó la configuración y la publicación de un mapa con información de pozos de producción, residuos sólidos y el censo arbóreo del municipio.
- Metro Cali S.A.: la IDESC brindó apoyo a la empresa encargada del Sistema Integrado de Transporte Masivo (MIO) en el proceso de estructuración de su IG y con la publicación de los diferentes planes de rutas que se implementan en el municipio. Actualmente brinda apoyo en la construcción del catálogo de objetos geográficos.





- Gobernación del Valle: se intercambiaron experiencias para la implementación de la IDE de índole departamental.
- EMCALI EICE E.S.P.: la IDESC trabajó conjuntamente en la construcción de la nueva red de control geodésico y actualmente está apoyando la implementación de la IDE corporativa.
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM): en esta dependencia se están acompañando a los siguientes proyectos:
 - Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS): la IDESC apoyó la georreferenciación de los cestos para la disposición de residuos sólidos, así como la delimitación de las zonas verdes objeto de corte de césped, lo cual servirá para la implementación del programa de limpieza de áreas públicas adoptado en el PGIRS 2015-2027 para el municipio de Santiago de Cali.
 - Expediente Municipal: brindó directrices para llevar a cabo la incorporación y publicación de la información generada por el Expediente a través de la plataforma tecnológica de la IDESC.
 - Sistema de Indicadores Sociales: la IDESC ha trabajado conjuntamente con el fin de revisar y analizar los aspectos técnicos y metodológicos que permitan articular ambos proyectos de manera que se puedan integrar y publicar los datos estadísticos y los indicadores que se producen a través de la plataforma tecnológica de la IDESC.
 - Planoteca Digital: la IDESC asesora al equipo técnico de Esquemas Básicos de la Subdirección de Ordenamiento Urbanístico en la implementación de la Planoteca Digital del DAPM, la cual estará integrada con la IDESC.

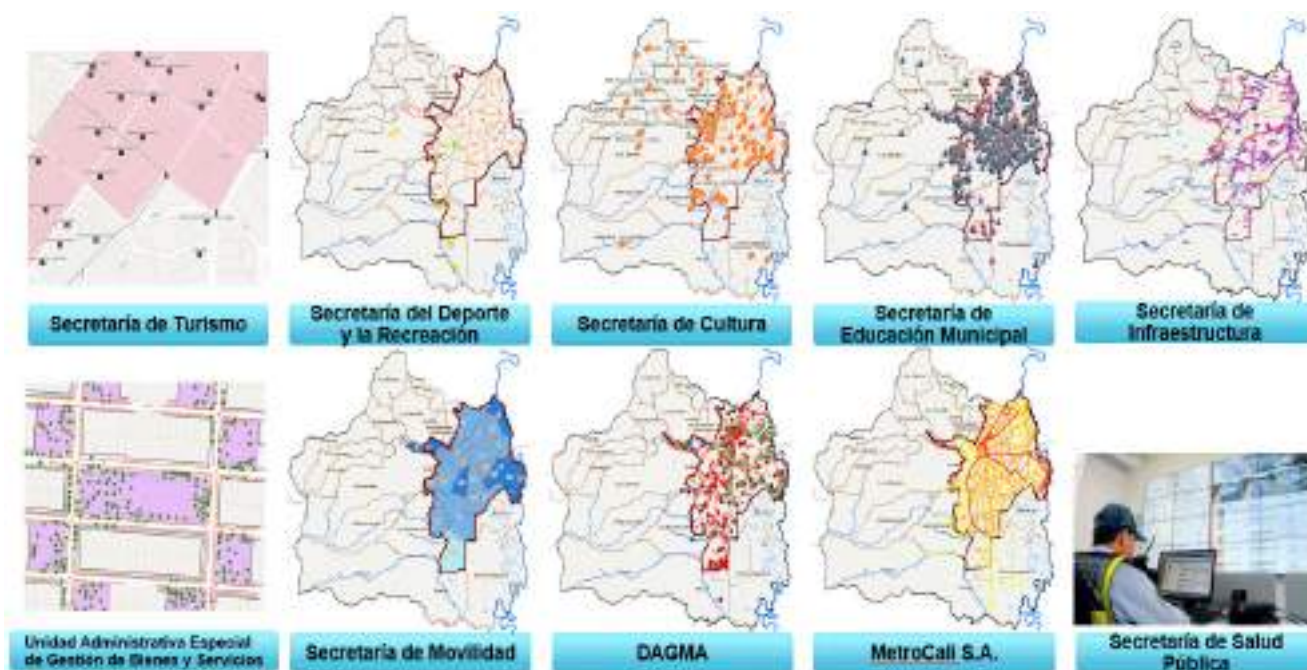


Figura 5. Apoyo técnico a organismos y nodos de la IDESC

Fuente: IDESC, 2016.



En qué estamos

A continuación se describen las principales actividades en las cuales se está trabajando en el momento:

- Actualización de la plataforma tecnológica: se está trabajando en la adecuación y configuración de la nueva plataforma tecnológica (hardware) con el fin de brindar un mejor servicio a los usuarios de la IDESC.
- Nuevo Geovisor IDESC: se están afinando las herramientas y las funcionalidades del nuevo Geovisor IDESC, y se están desarrollando nuevos módulos que permitirán mejorar la publicación y la gestión de la información geográfica del municipio. También se iniciaron las jornadas de socialización y capacitación en el manejo de la aplicación dirigidas a funcionarios y contratistas de las dependencias de la administración municipal y entidades vinculadas a la IDESC.
- Normas técnicas aplicadas a la gestión de la información geográfica: se viene trabajando en la revisión y el ajuste del documento Catálogo de Objetos Geográficos, así como en la actualización del documento Núcleo de Datos Fundamentales para la IDESC y en la revisión y el estado de las normas técnicas aplicadas a la geoinformación. También se han sostenido reuniones con el grupo del Sistema de Gestión de Calidad de la Alcaldía con el fin de realizar una articulación.
- Adopción de la nueva Red de Control Geodésico de Santiago de Cali: se continúa prestando acompañamiento técnico a las dependencias de la administración municipal y los profesionales del sector de la geomática en lo referente a información general, criterios técnicos de uso, localización de los elementos de la Red de Control Geodésico, aspectos metodológicos para la georreferenciación de puntos de control y transformación geométrica de coordenadas (figura 6).

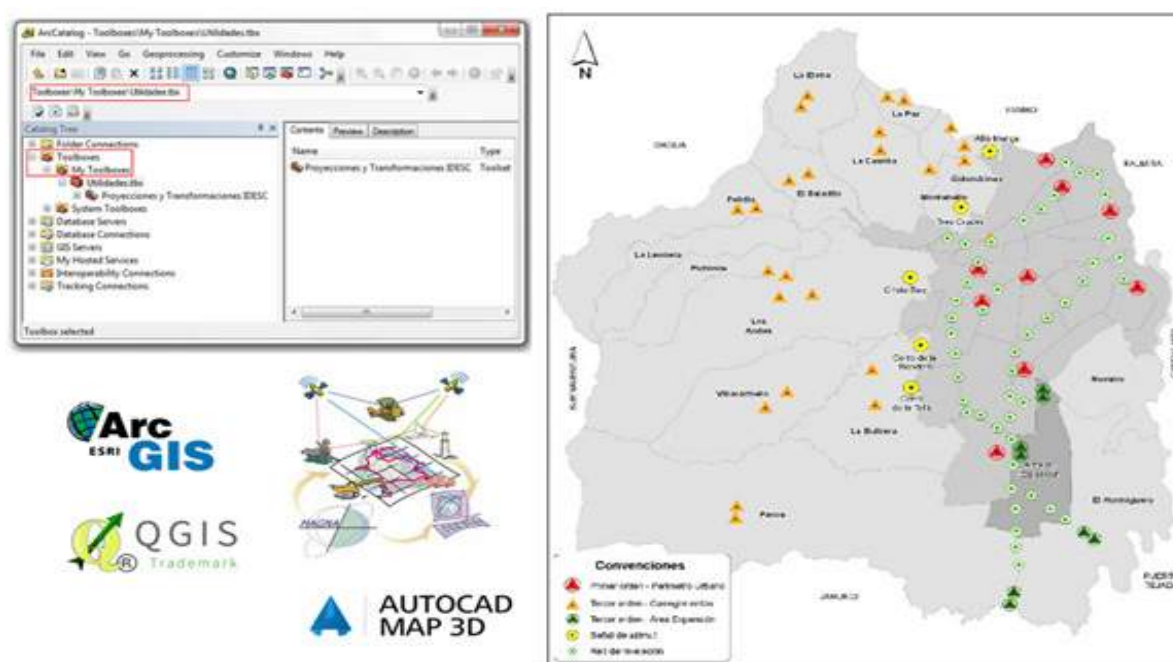


Figura 6. Red de control Geodésico oficial de Cali

Fuente: IDESC, 2016.





También se formuló el proyecto “Actualización de la Red de Control Geodésico del municipio de Santiago de Cali” con el fin de realizar periódicamente la actualización, el mantenimiento y el monitoreo de los referentes que conforman la Red de Control Geodésico de Cali para contar con un marco de referencia moderno y operativo, lo cual resulta necesario debido al movimiento constante de la corteza terrestre, al desplazamiento no cuantificado ocasionado por movimientos telúricos, al crecimiento de la ciudad y a la afectación en la estructura física que reciben los referentes geodésicos por parte de particulares que desconocen su importancia.

- Aplicación geográfica para dispositivos móviles: durante los últimos años la IDESC ha tenido un creciente número de visitas desde dispositivos móviles, lo que implica nuevos retos en la creación e implementación de aplicaciones móviles que tengan un comportamiento ágil para la consulta de información geográfica, lo cual permitiría llegar a otros sectores de la población. Dado esto, se está llevando a cabo el proceso de desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles multiplataforma que permita visualizar la información geográfica oficial del municipio de Santiago de Cali.
- Acompañamiento técnico a nodos de información geográfica de la IDESC: se continúa asesorando y acompañando a los nodos durante su proceso de implementación, pero cada uno de ellos se encarga de administrar y actualizar su información. El objetivo es contar con información actualizada y de calidad para que pueda ser integrada, consultada y analizada por los distintos usuarios para la toma de decisiones.
- Actualización del Geoportal IDESC: se administra y mantiene actualizada la información del portal geográfico de la IDESC para que los usuarios puedan acceder a la información más actualizada para sus diferentes propósitos. También se mantiene informados a los usuarios de la IDESC sobre las actualizaciones, las actividades, los avances y los productos a través de las redes sociales Facebook y Twitter.
- Actualización de IG: continuamente se lleva a cabo la actualización de la información geográfica básica oficial del municipio, debido principalmente a la dinámica de la ciudad y a los nuevos desarrollos urbanísticos sobre distintas áreas. También se mantiene actualizada la información geográfica del POT, suministrada por la misma oficina, en el Geovisor IDESC y en el resto de servicios de información geográfica. La información también se actualiza debido a imprecisiones cartográficas.
- Mapas interactivos: con el fin de ofrecer a la comunidad otras alternativas de consulta de mapas del municipio, se habilitaron, a través de la sección de mapas del Geoportal IDESC, los mapas interactivos, que consisten en la publicación mensual de una cartografía base de Cali e información de un tema específico de interés para la comunidad. Actualmente se cuenta con los siguientes mapas (figura 7):
 - Equipamentos zona urbana de Cali
 - Muertes por accidentes de tránsito en Cali
 - Mapa de ruido 2015 - DAGMA
 - Estratificación socioeconómica 2017



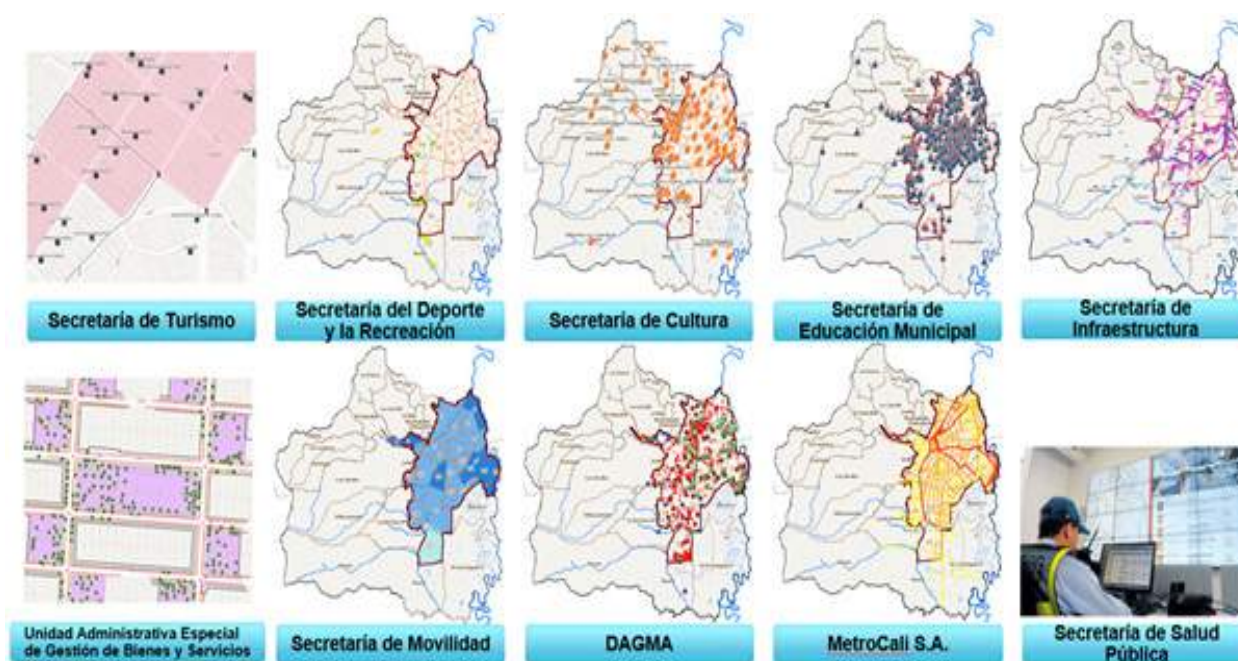


Figura 7. Mapas temáticos interactivos de la IDESC.

Fuente: IDESC, 2016.

- Canchas sintéticas de fútbol6 en Cali
- Población 2005-2020 en Cali
- Densidad arbórea y número de árboles por habitante en Cali - DAGMA
- Mapas del Cali en cifras 2016
- Mapas del Sisben 2016
- Mapa turístico y sitios representativos de Cali
- Instituciones educativas oficiales en Santiago de Cali.
- Revisión y adquisición de tecnología RPAS para la generación de cartografía: se han venido realizando acciones orientadas a conocer las características, las ventajas y las desventajas de las tecnologías RPAS (por la sigla en inglés de *sistema de aeronave piloteada remotamente*), también conocidas como *drones*, aplicadas a la generación o actualización de información cartográfica. Esto con el fin de responder a necesidades específicas del DAPM en la generación de información para actividades como: actualización de cartografía básica, identificación de cobertura vegetal, crecimiento de asentamientos humanos de desarrollo incompleto y control posterior de obras, entre otras.
- Mapa de Distritos Térmicos: la IDESC continúa participando del proyecto de implementación de Distritos Térmicos en Colombia, el cual busca mejorar la eficiencia energética de las edificaciones y sustituir sistemas de enfriamiento que funcionen con sustancias agotadoras de ozono (SAO) y sustancias de alto impacto ambiental. El papel de la IDESC es servir de plataforma de integración de la información geográfica de las entidades involucradas y disponer las herramientas de decisión que permitan la identificación y la caracterización de las zonas potenciales para la implementación de distritos térmicos en la ciudad.





- Foro IDESC: la IDESC, en su continuo trabajo por mejorar la gestión de la información geográfica en el municipio de Santiago de Cali, programó el Primer foro IDESC: “Tendencias y buenas prácticas en gestión de la información geográfica”, el cual tuvo como objetivo dar a conocer proyectos con componentes de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), así como sus resultados y expectativas. El foro se centró en las tendencias de los diversos órdenes de IDE (corporativa, local, departamental y nacional), tecnologías IDE y buenas prácticas en gestión de la información geográfica.

Conclusiones

- El proceso de conformación de la IDESC y la puesta en marcha de las actividades de las mesas de trabajo han sido tareas dispendiosas dadas las costumbres administrativas que tiene cada una de las entidades participantes, sin embargo, poco a poco se ha abierto un espacio para el dialogo entre las instituciones, que han visto la importancia de articular esfuerzos orientados a mejorar la eficiencia en la gestión de información geográfica vital para la toma de decisiones en torno al cumplimiento de las metas misionales.
- El desarrollo de la Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali (IDESC), entendida como la suma de políticas, estándares, organizaciones y recursos tecnológicos que facilitan la obtención, el uso y el acceso a la información del municipio, es indispensable para la generación continua de conocimiento sobre el territorio y la evolución del mismo, al igual que para la toma de decisiones a diferentes niveles, con información georreferenciada relevante, oportuna y confiable que apoye el desarrollo económico y social del municipio.
- Existe una clara necesidad, a todos los niveles, de acceder, integrar y utilizar datos espaciales procedentes de fuentes dispares con el fin de guiar la toma de decisiones. Nuestra habilidad, entonces, para tomar decisiones acertadas colectivamente a nivel local, regional y global depende de la implementación de una IDE que suministre una compatibilidad entre jurisdicciones, promoviendo así el acceso y el uso de datos.
- La IDESC no debe ser solamente un conjunto de mapas o una base de datos y una colección de programas que permitan gestionar y manejar datos. Esto, aunque es muy importante, no lo es todo. Para que la IDESC sea funcional debe estar establecida sobre acuerdos políticos sólidos, emanados de las organizaciones con responsabilidades sobre los datos a diferentes niveles. Por lo tanto, la IDESC no es una entidad, sino un conjunto de estrategias articuladas alrededor de las instituciones productoras y usuarias de la información geográfica del municipio.



Bibliografía

- Alcaldía de Cali, Subdirección de Desarrollo Integral - Departamento Administrativo de Planeación (2008). *Cali en Cifras 2008*. Cali: Editorial Feriva S.A.
- Alcaldía de Santiago de Cali, Departamento Administrativo de Planeación Municipal (2011). *Políticas de información geográfica para el desarrollo de la IDESC*. Recuperado de http://idesc.cali.gov.co/download/normatividad/politicas_informacion_geografica_idesc.pdf.
- Comisión Intersectorial de Políticas y de Gestión de la Información para la Administración Pública (COINFO). (2009). *Circular 001*. Recuperado de https://www.cce.gov.co/sites/default/files/adjutnos_basic_page/Circular%20No%20001%20-%202009%20-%20COINFO.pdf.
- Departamento Nacional de Planeación (2009). *Documento CONPES 3585, Consolidación de la política nacional de información geográfica y la ICDE*. Recuperado de https://www.cce.gov.co/sites/default/files/adjutnos_basic_page/Documento%20Conpes%203585%20CCE.pdf.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) (2010). *Información Geográfica. Método para catalogación de objetos geográficos. NTC5661 Icontec*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1999). *Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales - ICDE: conceptos y lineamientos*. [Versión 2.3]. Bogotá: IGAC.
- Masser, I. (2008). *Changing Notions of a Spatial Data Infrastructure*. Recuperado de <http://www.gsdi.org/gsdi11/papers/pdf/375.pdf>.



BIBLIOTECA IGAC

Toda la evidencia, los estudios, informes y los grandes aportes a la geografía, los suelos, el catastro y la ciencia geomática del país durante estos 84 años de existencia, la puede conocer a través de nuestra biblioteca

Más de
19.959 libros



Visítanos: Más de 19.959 libros entre los que se destacan:
El galardonado internacionalmente por la FAO: Suelos y Tierras de Colombia, Estudios General de Suelos y Zonificación de Tierras de los departamentos; Geografía y suelos para Niños; Geografía de Colombia, Estudio de los Conflictos de Uso del Territorio Colombiano, Manejo de Suelos Colombianos y Nariño: características geográficas, tesis de los programas de maestría del CIAF, Atlas de Colombia incluyendo la versión en Braille.



Vuelos no tripulados y cartografía participativa, una herramienta para la organización espacial: estudio de caso de la comunidad indígena Tikuna de San Martín de Amacayacu, Amazonas, Colombia

Unmanned aerial vehicle and participatory mapping, a tool for spatial organization: A case study of the Tikuna indigenous community of San Martín de Amacayacu, Amazonas, Colombia

Alejandro Carvajal-Téllez¹, Hernán Javier Díaz-Perdomo²,
José Gregorio Vásquez³

Resumen

Algunos de los territorios indígenas en Colombia se encuentran ubicados en zonas de difícil acceso, lo que deriva en estudios espaciales fragmentados, que presentan poco detalle y precisión en relación con las necesidades de las comunidades. Este trabajo plantea una solución a través del uso de plataformas aéreas no tripuladas y la cartografía participativa, como un mecanismo que facilita la integración y la movilización de conocimientos entre culturas. El estudio se llevó a cabo en la comunidad de San Martín de Amacayacu, con el apoyo, dirección y participación de la comunidad. Se realizaron ocho vuelos con un dron (913 fotos) y se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5, identificando así asentamientos y zonas de cultivo o “chagras” para determinar zonas de expansión y producción que permitan planificar el crecimiento de la comunidad. En la actualidad, como producto de la concentración de los grupos humanos promovido por el Estado colombiano, el incremento de familias en la comunidad se encuentra directamente relacionado con el aumento de las áreas de cultivo alrededor de la comunidad, acelerando así el proceso de transformación de la selva. Asimismo, se evidencia una limitante en el crecimiento de la comunidad asociado al acceso al agua y las zonas de cacería. Como resultado se obtuvo la cartografía base de la comunidad (modelo 3D) con la localización óptima de las zonas de cultivo halladas mediante el análisis multicriterio de cuatro variables y las áreas de expansión complementadas con el ejercicio de cartografía participativa.

Palabras clave: dron, imágenes satelitales, Amazonas, Tikuna, cartografía participativa.

1. Ingeniero geógrafo y ambiental en formación, Semillero Geoperspectivas. Correo: rcarvajal@udca.edu.co.

2. PhD, Ciencias Geográficas, ULaval. Profesor e investigador, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Correo: herdiaz@udca.edu.co.

3. Líder indígena, comunidad Tikuna de San Martín de Amacayacu, Amazonía colombiana.





Abstract

Indigenous communities in Colombia own territories in remote areas with difficult access. As a result, spatial studies are fragmented and have low resolution and little accuracy relative to the necessities of the communities. This project proposes a solution by using unmanned aerial vehicles (UAVs) and participative cartography, as a mechanism to facilitate the integration and transfer of knowledge between cultures. The study took place at the San Martín de Amacayacu community, with the direction, support and participation of members of the community. Using a UAV we took 913 photos during eight flights, and also used satellite images (Landsat 5) to identify settlements and farming areas or chagras, and areas of expansion and high productivity to better direct and control the growth of the community. Currently, as a result of the population concentration encouraged by the Colombian government, the increase in number of families in the community results in the expansion of farming areas around the community, thus accelerating the rate of transformation of the tropical rain forest. We have also identified access to clean water and hunting grounds as a limiting factor for the growth of the community. We obtained the base line cartography of the community (3D model) by finding the optimal location of farming areas through a 4 variable multicriteria analysis and expansion areas complemented by participative cartography.

Keywords: *drone, satellite imagery, Amazonas, Tikuna, participatory mapping.*





Introducción

En gran parte del territorio colombiano la cartografía básica presenta una escala geográfica que varía entre 1:100.000 y 1:25.000, que si bien resulta adecuada para la organización territorial en el nivel de municipios y corregimientos, a medida que los estudios precisan mayor detalle esta empieza a perder funcionalidad. En el caso de las comunidades pequeñas, que requieren de herramientas más exactas, estas escalas resultan poco útiles puesto que no facilitan una aproximación al territorio que permita darle múltiples enfoques a la interpretación y la organización del territorio.

El uso de los vehículos aéreos no tripulados (UAV, por la sigla en inglés de *unmanned aerial vehicle*) ha tomado un fuerte impulso en los últimos años debido a sus bajos costos, su precisión y su operatividad, entre otras utilidades (figura 1) (Laborie, 2012). Esto ha llevado a que los UAV (también llamados *drones*) sean tenidos en cuenta como herramientas que facilitan la realización de levantamientos topográficos de hasta 4,7 cm de resolución y un error vertical de 1,8 cm, con métodos de preprocesamiento y procesamiento avanzados (Carrera-Hernández, Levresse, Lacan & Aranda-Gómez, 2016), así como levantamientos catastrales que cumplen con la norma técnica colombiana 64 de 1994 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Perilla, 2017).

ESTUDIO COMPARATIVO	UAV	AVIÓN	SATELITE
PERMANENCIA/AUTONOMIA	Yellow	Red	Green
VELOCIDAD	Red	Green	Yellow
ALCANCE	Yellow	Red	Green
PENETRACIÓN	Green	Green	Yellow
MANIOBRABILIDAD	Green	Yellow	Red
PRECISIÓN	Yellow	Red	Green
CAPACIDAD DE RESPUESTA	Yellow	Green	Red
PREVISIBILIDAD	Yellow	Red	Red
AUTONOMIA	Yellow	Red	Green
RESTRICCIONES DE USO	Green	Yellow	Red
COSTE DE POSESION	Green	Yellow	Red
FACTOR HUMANO	Yellow	Green	Red
POLIVALENCIA	Green	Green	Red

Green	Cumplimiento superior
Yellow	Cumplimiento intermedio
Red	Cumplimiento inferior

Figura 1. Comparación de beneficios entre sistemas aeroespaciales
Fuente: I.A.S.S., 2008.

El interés en los vehículos aéreos no tripulados se ha incrementado incluso en aquellas comunidades que se consideran ajenas a los avances tecnológicos, ya que estas herramientas han facilitado los procesos de integración de los saberes locales con las nuevas tecnologías de la información geográfica. Asimismo, se ha visto favorecida la participación igualitaria entre decisores a través de una aproximación que parte de lo local hacia lo general. La mayoría de los trabajos que han realizado las comunidades con vehículos aéreos no tripulados se han enfocado hacia la protección del territorio en defensa de amenazas relacionadas con el reconocimiento de sus derechos sobre la tierra y la preservación de sus recursos, y esto ha promovido la apropiación de las herramientas a tal punto que en ciertas comunidades los habitantes han desarrollado sus propios drones y han implementado programas a largo plazo de monitoreo desde el aire (Kakaes et al., 2015).





En este tipo de iniciativas, la geomática se considera como una herramienta que brinda soporte a los procesos de cartografía comunitaria, no solo porque incluye diferentes aspectos de esta disciplina, sino porque facilita el incremento de las capacidades locales, favoreciendo el control y la protección del territorio. Es así como diversas comunidades han reclamado sus derechos de propiedad por medio de la utilización de cartografías en papel y en formato digital (Poole, 1994).

Los mapas comunitarios se han desarrollado por medio de la utilización de sistemas de información geográficos participativos (SIG-P). Este tipo de solución ha permitido apoyar y favorecer la participación de las comunidades en todas las etapas del proceso, asegurando así su inclusión desde la colecta de datos y la interpretación de resultados hasta la integración de la información plasmada en los mapas participativos, permitiendo así la modificación y la actualización del SIG (Abbot et al., 1998).

En relación con la experiencia cartográfica comunitaria, la comunidad Tikuna de San Martín de Amacayacu dio inicio a un proceso de mapeo en el 2006, basado en una serie de reflexiones surgidas durante la elaboración del taller interno “Derechos, políticas y cartografía: los tres elementos clave para el autodesarrollo”. Para este ejercicio se partió de la idea de mejorar el conocimiento y la comprensión de la problemática asociada al territorio, así como de disponer de un soporte para reivindicar la autonomía en su manejo. Se propuso un análisis basado en la integración de los saberes locales y la utilización de las tecnologías de la información geográfica por medio de un SIG participativo. Como resultado de este ejercicio, se pudo confirmar la generación de un proceso de movilización de conocimientos entre los participantes, la recuperación de un sentimiento de apropiación hacia el territorio, la materialización de las representaciones cognitivas del territorio a través de la producción cartográfica (en papel y digital) y la exploración de una estrategia diferente de comunicación entre la comunidad y el Estado. En la actualidad, este proceso continúa hacia la recuperación del territorio ancestral y la creación de un nuevo resguardo. De igual forma, cabe anotar que este ejercicio ha sido una fuente de inspiración para las demás comunidades asentadas en el Trapecio Amazónico.

La comunidad de San Martín de Amacayacu fue fundada en 1971 a orillas del río Amacayacu por voluntad del Estado colombiano (Vásquez & Verschoor, 2011). Se agruparon familias de los clanes Paujil y Cascabel, quienes organizaron un caserío al que se le ofrecieron algunos servicios básicos como brigadas de salud y educación. A medida que la comunidad fue creciendo, la franja agrícola (conocida en la región como *chagras de cultivo*) empezó a expandirse en un radio aproximado de 1,8 km (figura 2). Este valor puede representar la distancia óptima de desplazamiento, tomando como punto de origen la comunidad y teniendo en cuenta las características del terreno y todas las limitaciones inherentes al desplazamiento de los productos que allí se recolectan.





Figura 2. Franja límite de distribución de chagras
Fuente: elaboración de los autores.

A diferencia de otras regiones del país en las que los habitantes de sectores rurales presentan un patrón de desplazamiento hacia los centros más poblados, en la comunidad de San Martín de Amacayacu se registra un modelo de residencia prolongado en el que, incluso, se presentan migraciones puntuales de personas de otras regiones que se instalan en el territorio en el que nacieron sus parejas; en la mayoría de los casos se trata de hombres que conocieron a su mujer fuera de la comunidad. Este comportamiento causa preocupación en los líderes de la comunidad, quienes se han visto en la necesidad de reflexionar acerca de la mejor forma en la que pueden planear la organización espacial del asentamiento, de forma que se asegure el acceso a los recursos por parte de sus pobladores. Es en este contexto que se enmarca el trabajo que se planteó desde el semillero en estrecha relación con la comunidad.

Desarrollo teórico y metodológico

Captura y procesamiento de fotografías

La cartografía base se realizó con la ayuda del dron Phantom 3 professional, se tomaron 913 fotografías (7 fajas), a una altura de 90 m, con un traslape del 80% entre cada imagen e inclinación de la cámara de 45 grados, asegurando una adecuada ortorectificación en la etapa de procesamiento. En esta etapa se utilizó el programa recomendado por Coral (2010), de acuerdo con la comparación que se presenta en la figura 3.

Software	Facilidad de Adquisición	Recibe como entrada Fotografías	Generación Nube de Puntos	Exporta Nube de Puntos	Calidad Nube de Puntos
VisualSFM	ALTA	X	X	X	MEDIA
Pix4D	MEDIA	X	X	X	ALTA
Agisoft Photoscan	ALTA	X	X	X	ALTA
Autopano	MEDIA	X			NA

Figura 3. Comparación entre programas fotogramétricos.
Fuente: Coral, 2010.



Procesamiento Agisoft

El procesamiento de las imágenes se realizó con el programa Agisoft PhotoScan Professional, de acuerdo con el siguiente flujo de trabajo (figura 4).

Orientación de fotografías

En este paso, el programa reconoce puntos homólogos entre cada fotografía, lo que genera una nube de puntos dispersa que le permite reconocer la alineación de cada fotografía en el espacio (figura 5). Posteriormente, es posible procesar una nube que genera una mayor densidad de puntos homólogos. En este caso, se generaron 51.471.462 puntos.

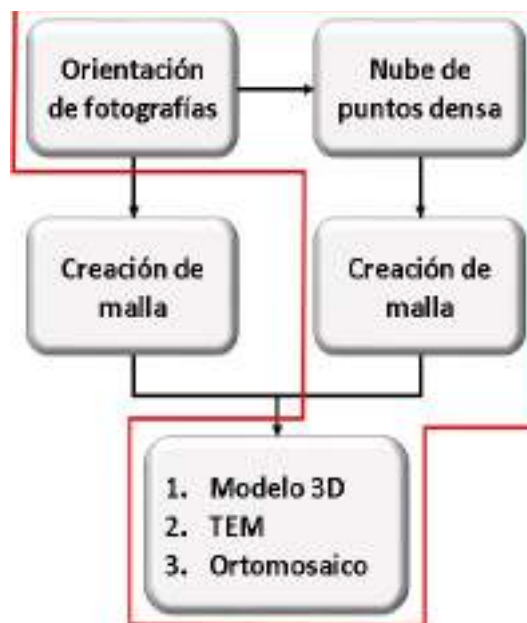


Figura 4. Flujo de trabajo usado en el procesamiento de las imágenes
Fuente: elaboración de los autores.

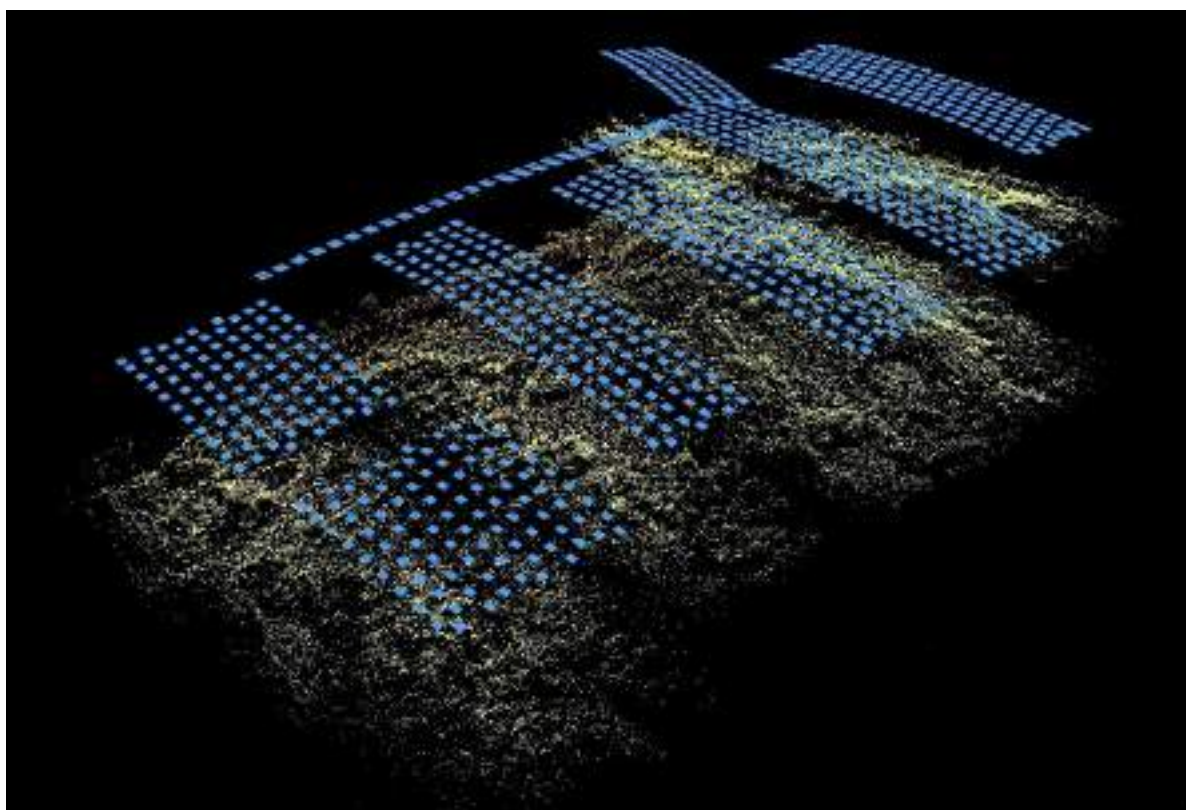


Figura 5. Orientación de fotografías y nube de puntos dispersa
Fuente: análisis Agisoft realizado por los autores.



Creación de malla

La interpolación de malla poligonal se generó a partir de los datos, nube de puntos densa (figura 6), para generar un modelo TIN (figura 7). Este modelo se crea teniendo como referencia el conjunto de puntos con menor error de precisión y de incertidumbre (Merlo & Aliperta, 2015). El resultado fue una malla conformada por 10'074.301 caras, bajo los siguientes criterios:

- Tipo de superficie: arbitraria
- Datos fuente: nube de puntos densa
- Interpolación: deshabilitada



Figura 6. Nube de puntos densa

Fuente: análisis Agisoft realizado por los autores.

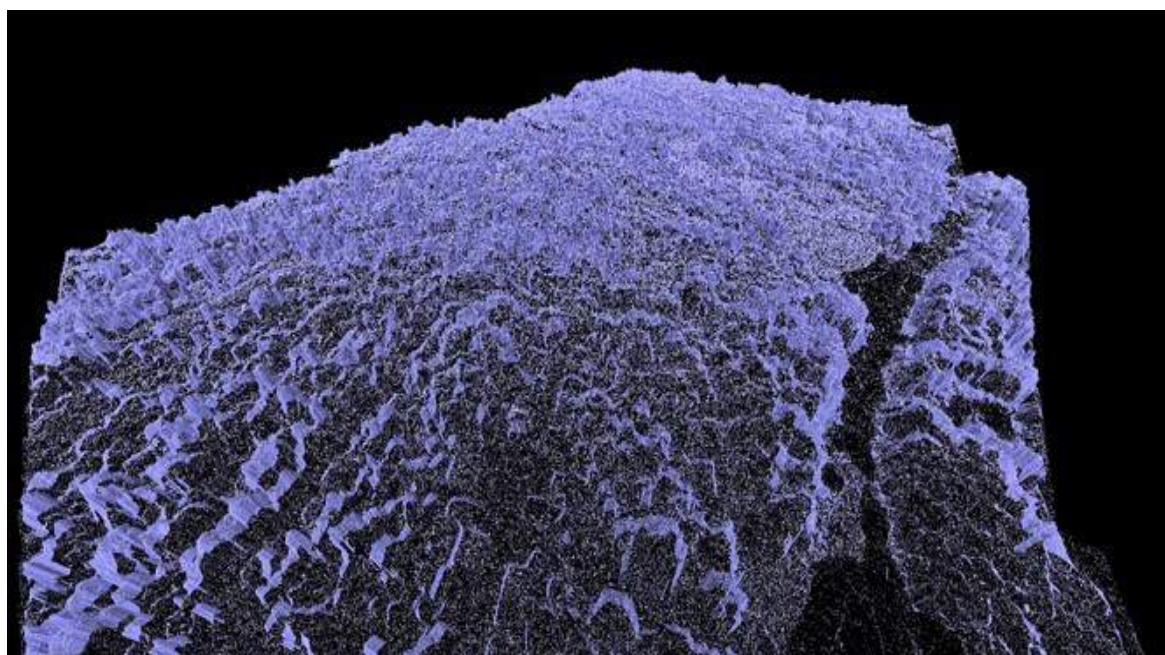


Figura 7. Malla TIN

Fuente: análisis Agisoft realizado por los autores.





Ortomosaico

El ortomosaico fue generado a partir de la malla TIN con los siguientes parámetros (figura 8):

- Sistema de coordenadas: geográfica (WGS 84)
- Superficie: malla
- Modo de mezcla: mosaico
- Resolución espacial: 4,5 cm

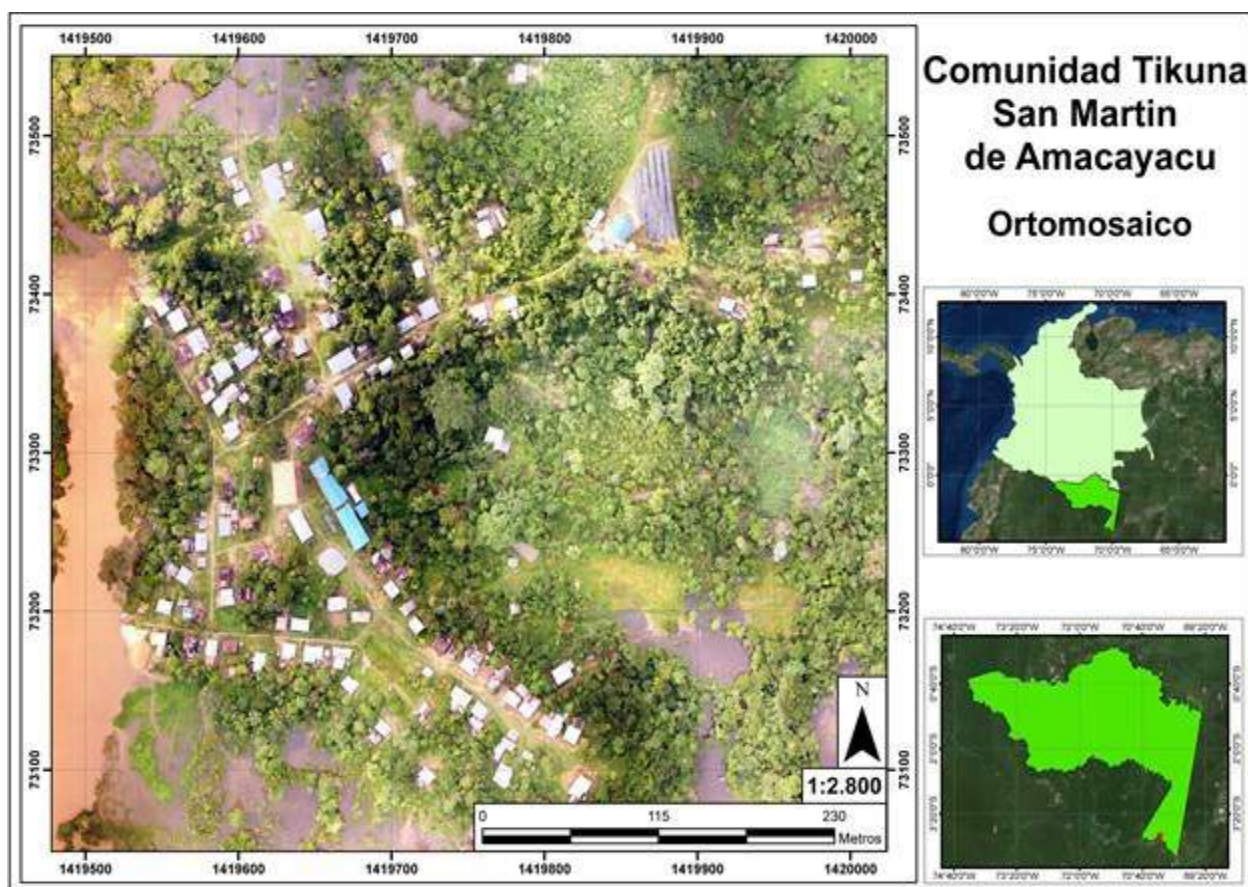


Figura 8. Ortomosaico

Fuente: análisis Agisoft realizado por los autores.



Modelo digital de superficie

Se realizó con la malla TIN, bajo los siguientes parámetros (figura 9):

- Interpolación: deshabilitada
- Resolución espacial: 18 cm
- Datos fuente: malla TIN

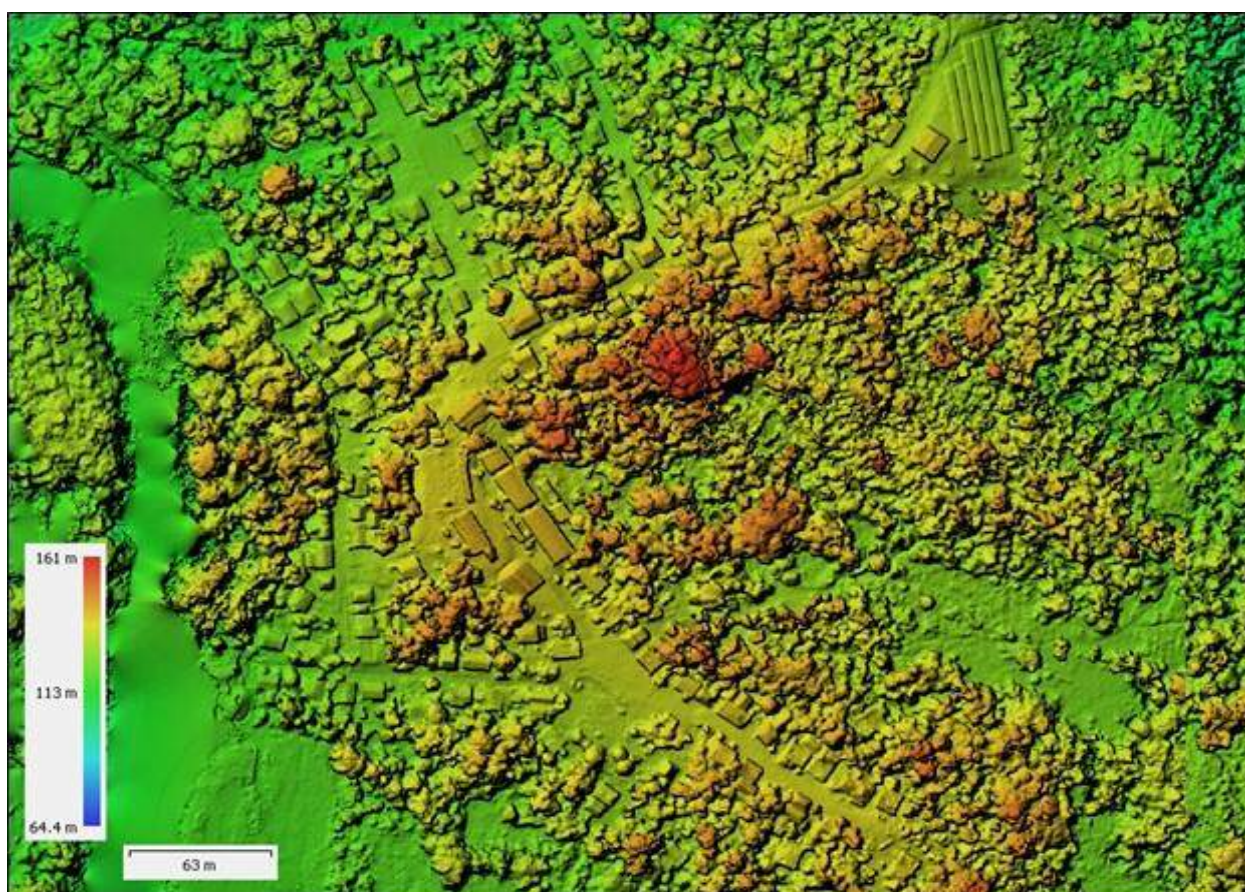


Figura 9. Modelo digital de superficie
Fuente: análisis Agisoft realizado por autores.





Identificación de posibles zonas de producción

La yuca constituye el 80% de la producción de una chagra, consolidándose así como uno de los principales productos de la comunidad de San Martín de Amacayacu. Ha generado cultura y conocimiento alrededor de su consumo, desde la construcción de instrumentos como el *tupí*, para la extracción del almidón, así como las diferentes formas de cocinar y consumir la yuca, como la fariña, el casabe y bebidas como el masato, utilizada en las principales celebraciones de la comunidad, como la Pelazón (Acosta & Mazorra, 2005).

La identificación de las zonas de producción se elaboró a partir de un análisis multicriterio de cuatro variables pensadas respecto al producto de mayor producción en la chagra, y por su nivel de detalle y fácil acceso a la información. No obstante, se propone que el modelo puede llegar a ser mejorado a través de un estudio más amplio que identifique nuevos criterios para el análisis (las capas fueron trabajadas con una resolución de 30 m x 30 m).

Criterios

- Zonas de inundación

Las zonas de inundación fueron obtenidas a partir del ortomosaico de la comunidad y el modelo digital de terreno (MDT) por medio del sensor ALOS PALSAR, descargado del Alaska Satellite Facility (ASF). Este cuenta con una resolución espacial de 12,5 m y procesamiento *radiometrically and terrain corrected* (RTC) (University of Alaska Fairbanks [UAF], 2017). El criterio se definió para prevenir que las chagras sean ubicadas en zonas donde la producción no es constante a lo largo del año.

- Margen de 2 km de influencia

Se definió un margen de 2 km a los costados del río Amacayacu por ser un espacio que permite mejor desempeño en las labores de cultivo y cosecha, de acuerdo con lo que expresó la comunidad. Asimismo, esto fue lo que se registró en las imágenes satelitales al analizar la franja agrícola.

- Pendiente

El lavado de nutrientes por fuertes pendientes es un elemento que determina la producción del cultivo de yuca (Ospina & Ceballos, 2002). De esta forma se obtuvieron pendientes a través del MDT Aster y se escogieron las pendientes menores a 11° para el caso de estudio. Lo anterior se definió con base en la clasificación de pendientes para el cultivo de la yuca descrito en Ospina y Ceballos (2002): plano o casi plano (<4°); pendiente moderada (4°-14°) y pendiente empinada (>14°).

- Temperatura ambiente

La capacidad foliar y el crecimiento del esqueje de la planta están relacionados directamente con la temperatura del ambiente. La germinación más rápida ocurre en un rango de 28,5-30 °C y se inhibe cuando las temperaturas son superiores a 37-39 °C o inferiores a 12-17 °C; así, el crecimiento más vigoroso de los brotes ocurre entre los 30 y los 32,5 °C (Domínguez, 1983). En el caso de estudio, se eligió el rango de 27 a 30 °C como aquel que favorece el crecimiento del esqueje.



La temperatura ambiente fue determinada a través del procesamiento de 23 imágenes satelitales Landsat 5, mediante el cálculo de la radiancia de la banda térmica (6) y la temperatura ambiente de tres estaciones meteorológicas con procesos de control de calidad y llenado de datos (Sáez, 2011). Se realizó una correlación lineal entre los valores de radiancia y temperatura ambiente de las imágenes satelitales y se obtuvo la ecuación lineal $y = 3,1906x + 0,0156$. Esta ecuación se utilizó para la conversión de la radiancia a valores de temperatura ambiente.

Los criterios de áreas de inundación y margen de 2 km se usaron para delimitar la zona de estudio y, en esta, poder revisar las pendientes y las temperaturas favorables para el cultivo a través del análisis multicriterio que se realizó en cada una de las 23 imágenes

$$L = \left(\frac{LMAX - LMIN}{Qcalmax - Qcalmin} \right) * (Qcal - Qcalmin) + LMIN$$

Donde:

L = Radiancia [W/(m²srum)]

Qcal = Imagen DN

LMAX = Radiancia espectral escalada de acuerdo con el sensor [W/(m²srum)]

LMIN = Radiancia espectral escalada de acuerdo con el sensor [W/(m²srum)]

Qcalmin = Mínimo valor de pixel de la imagen

Qcalmax = Máximo valor de pixel de la imagen

Landsat 5. Como resultado, se adquirieron, para cada imagen, las zonas favorables para cultivar. Como último paso, se traslaparon las zonas de mayor ocurrencia en las 23 imágenes para obtener el área de optimización de los cultivos (figura 10). El procesamiento arrojó que la zona con mejor producción es la que se sitúa al este del río Amacayacu, zona que no pertenece a la comunidad y que está destinada para la construcción del proyecto Ecovía, que conectará al municipio de Puerto Nariño con la comunidad de San Martín de Amacayacu (figura 11).

De acuerdo con la cartografía comunitaria, en esta zona hay cultivos de yuca, de forma que poco importa que se sitúe por fuera del territorio de la comunidad. Sin embargo, existe el riesgo de desbordamiento durante el periodo de aguas altas, puesto que se encuentra localizada en la llanura de inundación del río Amacayacu. La utilización del sector es apreciada porque luego de cada crecida este se ve enriquecido con sedimentos. Esto puede ser también un factor limitante porque no se tiene certeza de cómo se va a presentar la inundación: en algunas ocasiones no alcanza los cultivos y en otras pueden durar sumergidos durante todo el periodo de aguas altas.

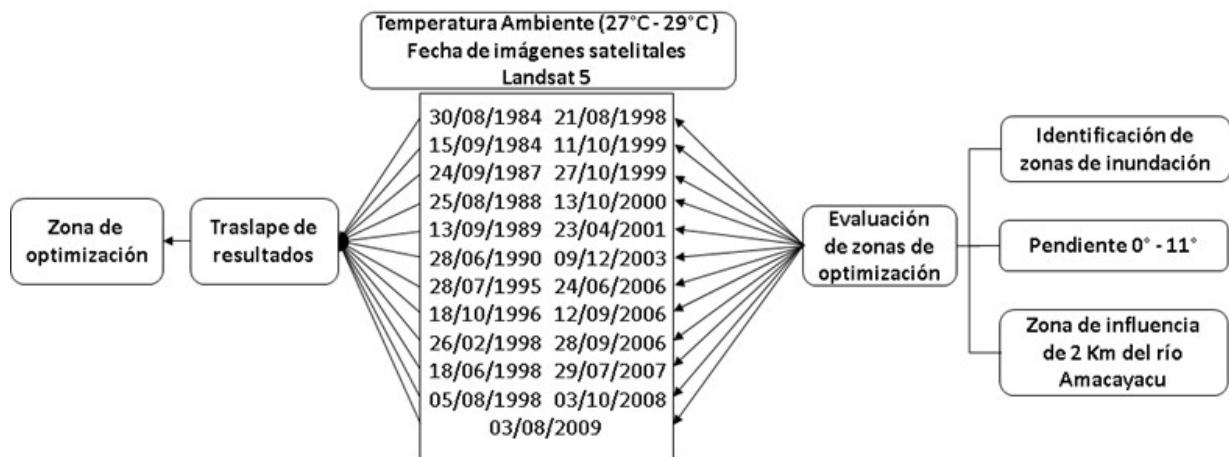


Figura 10. Flujo de trabajo para la obtención de la zona de optimización
Fuente: elaboración de los autores.

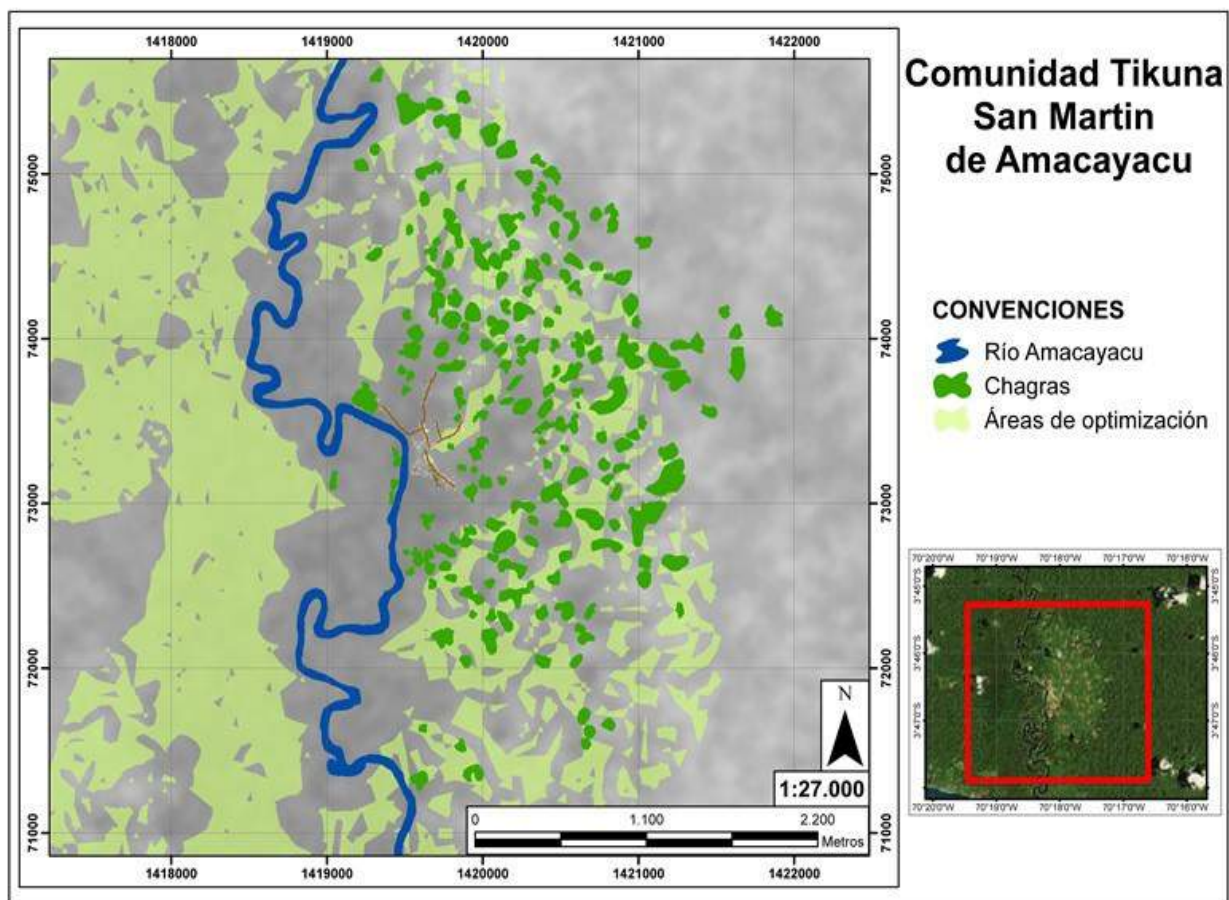


Figura 11. Zona de optimización de chagras
Fuente: elaboración de los autores.

Conclusiones

- El uso de drones permite gestionar y conocer de una manera más detallada el territorio y, en el caso específico de la comunidad Tikuna de San Martín de Amacayacu, facilitó el acercamiento desde otra perspectiva y evidenció la tendencia que se presenta en relación con el crecimiento de la comunidad, en particular en lo que hace referencia a la ubicación de las viviendas familiares.
- Con respecto a las chagras, fue posible proponer nuevas áreas de cultivo basándose en las características particulares asociadas a la producción de la yuca. Asimismo, fue posible observar el comportamiento que estas han tenido espacial y temporalmente durante un periodo de 20 años.
- Los productos cartográficos obtenidos de este ejercicio con el dron, sumados a los mapas digitales con los que cuenta la comunidad, han favorecido la creación de un canal de comunicación directo con el Estado colombiano, labor que antes se realizaba a través del Parque Nacional Natural Amacayacu, ya que este actuaba como un representante de la comunidad ante el Estado. Lo anterior ha beneficiado de forma similar el derecho hacia la autonomía y la autodeterminación indígena que promueve la Constitución colombiana.
- La adopción de las tecnologías de la información geográfica aplicadas en el proyecto ha motivado la recuperación del interés por la tierra y la generación de un interés creciente en el aprendizaje de estas técnicas, así como la recuperación de la confianza para proponer ideas a través de un lenguaje que les permite interactuar con los organismos del Estado, con organizaciones interesadas en la región y con las comunidades vecinas que reconocen el trabajo cartográfico que se ha realizado.
- Después de numerosos años de explotación de conocimientos en la comunidad de San Martín de Amacayacu, este proyecto asegura que la totalidad de la información recolectada ha sido puesta a disposición de la comunidad.
- El reto que se propone la comunidad es planificar a futuro su crecimiento teniendo en cuenta ciertas limitantes, como el acceso al agua y la ubicación de sitios importantes para ellos, como las áreas de cacería y los sitios sagrados, entre otros.
- En relación con las chagras, se propone un trabajo participativo y a largo plazo que integre los conocimientos tradicionales con las nuevas tecnologías de la información geográfica, enfocado hacia los nuevos retos que proponen el crecimiento demográfico y el interés productivo en las áreas de cultivo. Lo anterior en correspondencia con la preservación de la seguridad alimentaria de la comunidad.
- La comunidad de San Martín de Amacayacu es percibida desde la mirada estatal como una oferta turística, no se han tenido en cuenta las dinámicas sociales propias de los grupos étnicos y su apropiación del territorio como espacio de pensamiento y decisión, por lo cual se han creado proyectos y propuestas desenfocadas de la perspectiva Tikuna y esto puede generar fragmentación en la cultura. El encuentro entre la cartografía participativa y los vuelos no tripulados para la generación de herramientas que faciliten la toma de decisiones permite un primer acercamiento neutro y desinteresado que lleva a la comprensión de diferentes culturas que trabajan para un mismo objetivo.



Bibliografía

- Abbot, J., Chambers, R., Dunn, C., Harris, T., De Merode, E., Porter, G., Townsend, J. & Weiner, D. (1998). Participatory GIS: opportunity or oxymoron? *PLA Notes*, 33, 27-34. Recuperado de <http://pubs.iied.org/pdfs/G01796.pdf>.
- Acosta, L. & Mazorra, A. (2005). Enterramientos de masas de yuca del pueblo Ticuna. En: *La yuca es cosmología y ritual tikuna*. Leticia: Instituto SINCHI.
- Carrera-Hernández, J. J., Levresse, G., Lacan, P. & Aranda-Gómez, J. J. (2016). A low cost technique for development of ultra-high resolution topography : application to a dry maar's bottom. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 33, 122-133.
- Coral, E. J. (2010). *Generación de modelos de elevación digital a partir de imágenes obtenidas desde vehículos aéreos no tripulados (UAVs)*. ISTAR-CIS1510AP03. Bogotá: Universidad Javeriana. Recuperado de http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1510AP03/Entregables/Artículo_TG_ErickCoral.pdf.
- Domínguez, C. (1983). *Yuca: investigación, producción y utilización*. Programa de Yuca. Referencia de los cursos de capacitación sobre yuca dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT-PNUD. Recuperado de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/SB211.C4_Y85_Yuca_Investigaci%C3%B3n,_producci%C3%B3n_y_utilizaci%C3%B3n.pdf.
- Kakaes, K., Greenwood, F., Lippincott, M., Dosemagen, S., Meier, P., Wich, S. & Moores, J. (2015). *Drones and Aerial observation: New technologies for property rights, human rights, and global development. A Primer*. Nueva York: New America. Recuperado de <http://drones.newamerica.org/primer/>.
- Laborie, M. A. (2012). La era de los drones. *Atenea*, 41, 56-60. Recuperado de http://www.ieee.es/Galerias/fichero/revistas/ATENEA_EraDrones_MLI.pdf.
- Merlo, A. & Aliperta, A. (2015). *Levantamiento digital y modelación 3D*. Italia: Universita Degli Studi di Firenze. Recuperado de http://issuu.com/dida-unifi/docs/levantamiento_digital.
- Ospina, B. & Ceballos, H. (2002). *La yuca en el Tercer Milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54117>.
- Perilla, H. A. (2017). *Evaluación del pre procesamiento y procesamiento de imágenes adquiridas de plataformas aéreas remotamente tripuladas (ART) para la generación de insumos cartográficos en la actualización catastral, caso de estudio: municipio de Cabuyaro, departamento del Meta*. (Trabajo de grado). Facultad de Ingeniería, Ingeniería Catastral y Geodesia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11349/5436>.



- Poole, P. (1994). Geomatics: Who needs it? *Cultural Survival Quarterly Magazine*, 18-4. Recuperado de <https://www.culturalsurvival.org/publications/cultural-survival-quarterly/geomatics-who-needs-it>.
- Sáez, K. C. (2011). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. *Terra Nueva Etapa*, XXVII(42), 95-122. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/721/72121706005.pdf>.
- I.A.S.S. (2008). *UAVs Beneficios & Límites*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/44631130/Dossier-UAV-Spanish-Version>.
- University of Alaska Fairbanks (UAF). (2017). *Alaska Satellite Facility*. Recuperado de <https://www.asf.alaska.edu/>.
- Vásquez, J. G. & Verschoor, G. (2011). *En defensa de lo propio. Hacia el perfeccionamiento de las relaciones entre el mundo Tikuna y el mundo occidental. San Martín de Amacayacu, Colombia*. Bogotá: XPress Editores S.A. Recuperado de www.tropenbos.org/file.php/671/finalcuerpoverschoor%20web%20002.pdf.





Análisis de viabilidad ambiental para la actividad minera en el municipio de Sogamoso, Boyacá

Analysis of environmental feasibility for mining in Sogamoso, Boyacá

Sulma Yaneth Suárez-Aristizabal¹, Omar Javier Daza-Leguizamón²,

Gladys Alcira Riaño-Cano³

Resumen

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo (2014-2018), la minería es uno de los pilares fundamentales de la economía colombiana, lo cual, indudablemente, supone retos de carácter ambiental para los entes territoriales. Este trabajo presenta un análisis espacial de los componentes abiótico, biótico y sociocultural para evaluar la viabilidad de la actividad minera. Las variables de tipo abiótico fueron: amenazas naturales, capacidad agrológica, aguas subterráneas y aguas superficiales. Las variables de tipo sociocultural incluyeron: carreteras, sistemas de provisión de servicios públicos, áreas con equipamientos públicos, áreas de interés cultural o arqueológico y asentamientos humanos. El componente biótico fue abordado con el modelo de calidad de hábitat de InVest; se consideraron las coberturas del suelo según la clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia y los puntos de muestreo de flora y fauna dispuestos en la plataforma del Sistema de Biodiversidad de Colombia. Mediante la aplicación de análisis jerárquico se adelantó la sobreposición ponderada de las variables para clasificar el territorio en tres categorías de manejo ambiental: exclusión, intervención con restricciones e intervención. La metodología propuesta se aplicó en el municipio de Sogamoso, el cual se caracteriza por albergar explotaciones de minerales como carbón y roca fosfórica, entre otros. Los resultados permitieron identificar zonas con diferentes conflictos territoriales que deben ser analizados para implementar programas y proyectos que permitan minimizarlos o eliminarlos. De esta manera, el análisis espacial permite a los operadores mineros, las autoridades ambientales y la comunidad en general articular esfuerzos para mantener los niveles de la economía regional y minimizar los efectos ambientales adversos.

Palabras clave: minería, abiótico, biótico, economía, sociocultural.

1. Ingeniero ambiental. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: sulma.suarez@uptc.edu.co.

2. Magíster en Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: omar.daza@uptc.edu.co.

3. Ingeniero civil. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: gladys.riano@uptc.edu.co.





Abstract

According to the national development plan, mining is one of the fundamental pillars of the Colombian economy; which undoubtedly poses environmental challenges for local authorities. This paper presents a spatial analysis of the abiotic, biotic and sociocultural components to evaluate the viability of the mining activity. The variables of the abiotic type were: natural threats, agronomic capacity, groundwater and surface waters. Sociocultural variables included: roads, public service delivery systems, areas with public facilities, areas of cultural or archaeological interest, and human settlements. The biotic component was addressed with the InVest habitat quality model; considering the coverages of the soil according to the classification Corine Land Cover adapted for Colombia and the points of sampling of flora and fauna arranged in the platform of the System of Biodiversity of Colombia. Through the application of hierarchical analysis the weighted overlapping of variables was advanced to classify the territory into three categories of environmental management: exclusion, intervention with restrictions and intervention. The proposed methodology was applied in the municipality of Sogamoso, which is characterized to hold mineral exploitations such as coal, phosphoric rock, among others. The results allowed identifying areas with different territorial conflicts that must be analyzed to implement programs and projects that allow them to be minimized or eliminated. In this way, spatial analysis allows mining operators, environmental authorities and the community in general to articulate efforts to maintain the levels of the regional economy by minimizing adverse environmental effects.

Keywords: *mining, abiotic, biotic, economy, socio-cultural.*





Introducción

El municipio de Sogamoso se encuentra en la región del Alto Chicamocha del departamento de Boyacá, en Colombia, a una latitud de 5° 42' 57" norte y una longitud de 72° 55' 38" oeste. Está ubicado sobre la cordillera Oriental, entre las coordenadas norte = 1.109.000 – 1.130.000 m y este = 1.122.000 – 1.145.000 m, y a una altitud entre los 2.500 y 4.000 metros sobre el nivel del mar. Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), para el año 2015 “el área total de extensión geográfica del municipio es de 214 km², de los cuales 30,54 km² corresponden a extensión urbana [15%] y 178 km² a extensión rural [85%]” (Alcaldía de Sogamoso, 2016, p. 26).

La ubicación geográfica del municipio de Sogamoso define, en gran medida, su posicionamiento como centro comercial y prestador de servicios, tanto para los municipios aledaños, pertenecientes a la provincia de Sugamuxi, como al departamento de Boyacá, mediante una serie de proyectos de carácter estratégico, y con departamento de Casanare, con el cual mantiene múltiples nexos económicos, sociales y culturales. La economía de Sogamoso se sustenta en las actividades agropecuarias, la industria, la explotación de minerales, el comercio y la prestación de servicios.

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 “Sogamoso Incluyente”, el sector minero realiza labores de extracción y comercialización de rocas o minerales, tales como carbón, roca fosfórica, arcillas, arena y recebo. En la tabla 1 se presenta la participación minera por producción para los diferentes minerales. Según datos de la Agencia Nacional de Minería (ANM), es importante señalar que el municipio de Sogamoso, para el año 2015, aportó el 45,55% de la producción nacional de roca fosfórica (Alcaldía de Sogamoso, 2016).

Tabla 1. Participación minera por producción

<i>Roca o mineral</i>	<i>Año 2015 (ton)</i>	<i>Participación (%)</i>
<i>Carbón (predominante térmico)</i>	147.152	73,72
<i>Roca fosfórica</i>	38.701	19,39
<i>Arcillas</i>	11.021	5,52
<i>Arenas (densidad promedio 1,55 ton/m³)</i>	2.440	1,22
<i>Recebo (densidad mezcla promedio 1,7 ton/m³)</i>	306	0,15

Fuente: datos de la Agencia Nacional de Minería tomados del Plan de Desarrollo Municipal (Alcaldía de Sogamoso, 2016, p. 114).





En el informe del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), elaborado por la Universidad Nacional de Colombia (2013), se describe que las unidades mineras de mayor participación municipal están en el sector de la arcilla, con 163 minas activas, seguidas por las unidades de carbón, con 64 minas activas (figura 1).

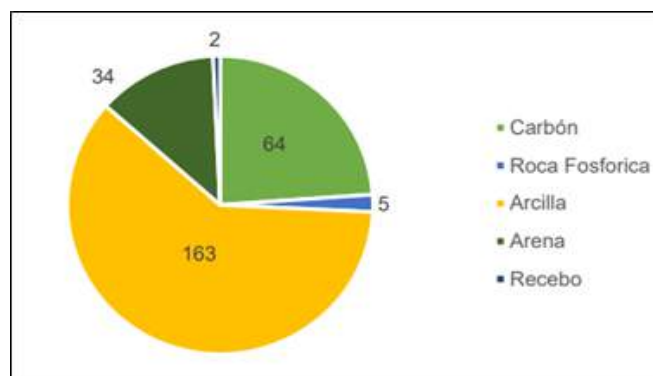


Figura 1. Detalle de unidades mineras activas, municipio de Sogamoso, 2012

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Proyecto POT (2013).

La cobertura de área de los contratos, licencias y solicitudes, según el diagnóstico para el POT realizado por la Universidad Nacional (2013), describe un total de área de cobertura de títulos mineros correspondiente a 7.129 ha, lo cual significa que el 34% del área total del municipio se encuentra en una zona de influencia de títulos.

En cuanto a los aspectos ambientales, el informe de la Corporación Regional Autónoma de Boyacá (Corpoboyacá, 2013), titulado *Ajuste al PGAR 2009-2019*, describe:

[...] la actividad de extracción, en especial el carbón, es insostenible ambientalmente, lo cual se combina con una labranza que afecta la calidad del suelo, lo vuelve improductivo y crea un círculo vicioso donde se amplía la frontera agrícola sacrificando los bosques para buscar tierra cultivables, que pronto son inservibles por las mismas prácticas agrológicas inadecuadas. A esta situación se agrega que cada vez el tamaño de las áreas de las propiedades rurales o de los terrenos cultivables es mínimo, imponiéndose el microfundio. El resultado se mide en un número mayor de familias campesinas atrapadas en la pobreza.

En este contexto, el análisis de viabilidad propuesto es un instrumento para la planificación de la operación minera y el procedimiento planteado busca evaluar la capacidad de acogida del territorio donde se expresa la relación entre las actividades de explotación y el entorno. Adicionalmente, con el tratamiento de datos georreferenciados, la combinación de variables ambientales y la aplicación de herramientas de análisis espacial, se pretende mostrar resultados espaciales en áreas de interés prioritario por su importancia ambiental.

Desarrollo teórico y metodológico

Metodología

El desarrollo del análisis de viabilidad ambiental partió de la recopilación de información de fuentes primarias, así como de la información producida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), entidad encargada de producir la cartografía oficial para Colombia, las bases de datos de la Gobernación de Boyacá, a través del Sistema de Información Geográfica Territorial para el departamento (SIGTER-Boyacá), la información espacial registrada en el sistema de información sobre biodiversidad de Colombia (SIB-COLOMBIA) y en el Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC).





El análisis de viabilidad se realizó a partir de variables espaciales, las cuales se seleccionaron para los componentes abiótico, biótico y sociocultural. Toda la información se estandarizó en una base de datos y se adoptó como único Datum oficial el dispuesto por el IGAC mediante la Resolución 068 de 2005.

Posteriormente se definieron los indicadores en términos de importancia ambiental para cada variable, se realizó el cálculo de ponderadores para cada componente ambiental empleando el método de análisis jerárquico y finalmente se implementó la metodología en el software, como se describe a continuación.

Componente abiótico y sociocultural

Para los componentes *abiótico* y *sociocultural* se aplicó el enfoque de análisis jerárquico (Saaty, 2008; 1990), se estructuró y determinó la importancia de cada variable ambiental y se obtuvo como resultado un factor de ponderación para cada uno de los componentes (tabla 2).

Tabla 2. Estructura por componente ambiental

<i>Componente</i>	<i>Variable espacial</i>	<i>Factores de ponderación</i>
<i>Abiótico</i>	<i>Amenazas naturales</i>	0,43
	<i>Capacidad agrológica</i>	0,11
	<i>Aguas subterráneas</i>	0,21
	<i>Aguas superficiales</i>	0,25
<i>Sociocultural</i>	<i>Carreteras</i>	0,13
	<i>Sistema de provisión de servicios públicos</i>	0,17
	<i>Áreas con equipamientos públicos</i>	0,13
	<i>Áreas de importancia cultural o arqueológica</i>	0,27
	<i>Asentamiento humanos</i>	0,30

Fuente: elaboración de los autores.

Cada una de las capas con información de las variables espaciales, dependiendo del tipo de fenómeno geográfico que representa, campo u objeto geográfico (Huisman & de By, 2009), fue procesada antes de realizar la suma ponderada para cada componente. Para las capas que representan campos geográficos discretos (amenazas naturales y capacidad agrológica) fueron asignados valores entre 0 y 1 en términos de vulnerabilidad ambiental, donde 0 representa poca o nula vulnerabilidad y 1 representa la mayor vulnerabilidad. Para las capas de tipo *objeto geográfico* (aguas subterráneas, aguas superficiales, carreteras, sistemas de provisión de servicios públicos, áreas de importancia cultural o arqueológica y asentamientos humanos), se obtuvieron capas de distancias euclidianas, que fueron normalizadas utilizando la siguiente ecuación:

$$y_i = 1 - \frac{x_i}{x_{i \max}} \quad (1)$$





En donde x_i es el valor de proximidad para el pixel i en cada capa, y $x_i \max$ es el máximo valor de distancia considerado para cada criterio. Con lo anterior, las capas de cada una de las variables se almacenaron en un rango de valores entre 0 y 1 para facilitar su posterior suma ponderada. Es importante señalar que el valor de las distancias se asignó en función de las franjas de protección ambiental reguladas por la legislación vigente.

Componente biótico

En relación al componente biótico, se obtuvo el mapa de idoneidad del territorio para el desarrollo de la actividad minera de acuerdo con la metodología de calidad de hábitat propuesta por InVest (Sharp et al., 2016), y se tuvo en cuenta el mapa de coberturas de la tierra, la cantidad de especímenes por cobertura y las áreas de protección ambiental.

La estandarización de los datos espaciales y las operaciones del análisis espacial fueron realizadas con el software ArcGIS 10.2 y la extensión Spatial Analyst. Se generaron mapas temáticos que permitieron determinar la idoneidad del territorio para el desarrollo de actividades mineras y, de esta manera, se estableció la viabilidad ambiental por componente, agrupando las áreas en categorías de sensibilidad ambiental como áreas de exclusión, intervención con restricciones e intervención. Esta fase se complementó con la validación de la información en campo, por ende, se realizaron visitas a algunos sitios de interés y se pudo comprobar la veracidad de los resultados.

Resultados

Al discriminar los resultados obtenidos en la zonificación del territorio en tres categorías, se facilitó la interpretación, el análisis y la toma de decisiones con el uso de herramientas de análisis espacial. Cada componente brinda información tanto para mitigar los impactos ambientales de proyectos mineros actuales como para otorgar **títulos y licencias mineras**, todo enmarcado en el principio de desarrollo sostenible.

La figura 2 presenta el mapa temático para el área de estudio. Esta salida gráfica permite identificar la viabilidad ambiental para el desarrollo de actividades mineras teniendo en cuenta el componente abiótico, y evidencia que el área correspondiente a las veredas Siatame, Villita y Valparaiso, Vanegas y la zona urbana se encuentran en la categoría de exclusión debido a que están en un área de amenaza por inundación. De igual manera, se identifican otros sectores que debido a las geoformas del terreno son susceptibles de presentar procesos de remoción en masa.

En la figura 3 se presenta el mapa de viabilidad para el componente sociocultural, donde se evidencia que el único sector que se encuentra en un **área de exclusión es la zona urbana de municipio**. Es importante señalar que el alto valor ambiental está complementado por la presencia del Museo Arqueológico y del Templo del Sol.



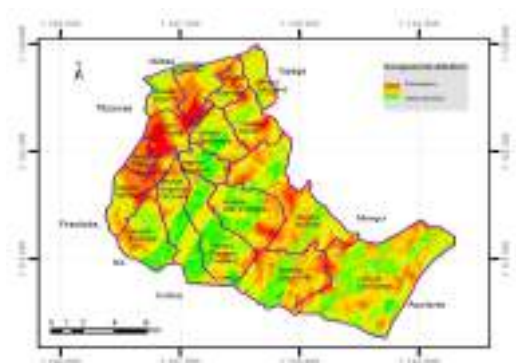


Figura 2. Viabilidad ambiental:
componente abiótico
Fuente: elaboración de los autores.

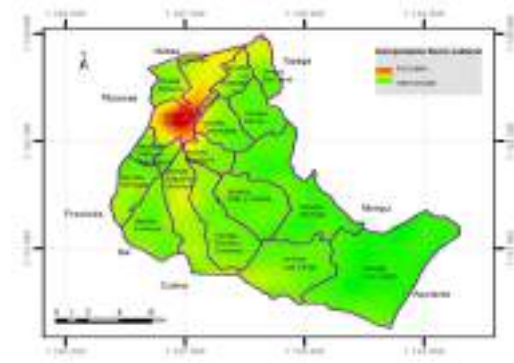


Figura 3. Viabilidad: componente
sociocultural
Fuente: elaboración de los autores.

Para el componente biótico, se evidencia que las veredas Las Cintas y Las Cañas son propicias para explotación de minerales (figura 4); sin embargo, se encuentran sobre los 2.700 metros sobre el nivel del mar, lo que implica que poseen ecosistemas de paramo, áreas que, de acuerdo con la ley del Sistema Nacional Ambiental (SINA), son objeto de protección especial (figura 5).

Otra veredas como El Pedregal, Morca, Ombachita, Pantanitos, El Mortiñal, Monquirá y Ceibita tienen unidades productivas activas de minerales como carbón, arcilla y roca fosfórica; de acuerdo al análisis de viabilidad, son áreas que se encuentran en la categoría de *intervención con restricciones*.

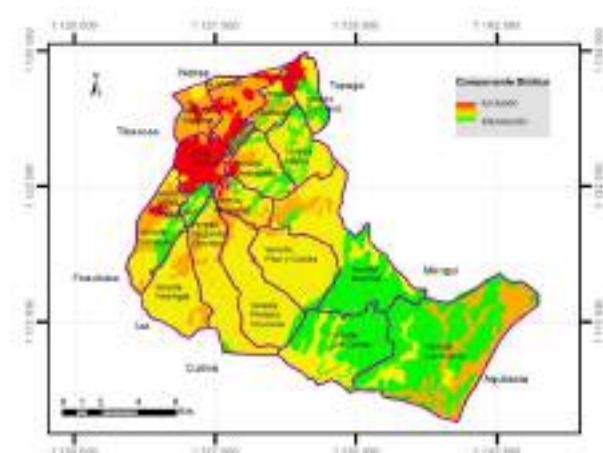


Figura 4. Viabilidad: componente biótico
Fuente: elaboración de los autores.

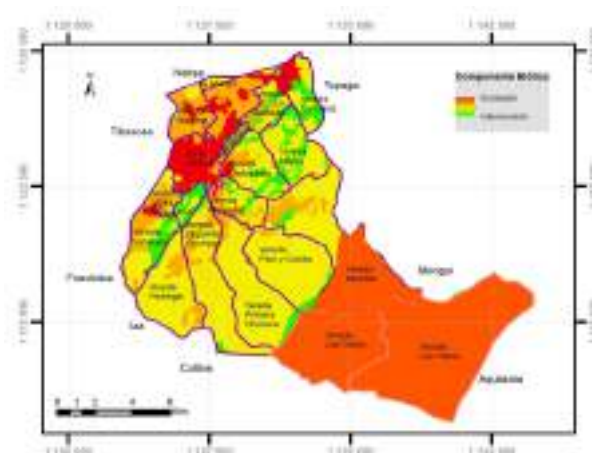


Figura 5. Viabilidad: componente biótico
y áreas protegidas
Fuente: elaboración de los autores.





Conclusiones

En el municipio de Sogamoso la explotación de minerales se realiza en la parte central, principalmente en las veredas Pedregal, Monquirá, Primera Chorrera, Morca, Ceibita y Ombachita, las cuales se encuentran en la categoría de áreas *de intervención con restricciones*, por lo cual es pertinente que se tengan en cuenta manejos especiales y restricciones propias de las actividades que se realizan. Según el Decreto 1076 de 2015, art. 2.2.1.1.18.2, los propietarios están obligados a mantener la cobertura boscosa dentro de los predios ubicados en las áreas forestales protectoras, que comprenden los nacimientos de fuentes de agua, en una extensión de por lo menos 100 metros a la redonda medidos a partir de su periferia; una franja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a la líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no, y alrededor de los lagos o depósitos de agua, así como en los terrenos con pendientes superiores al 100% (45 grados), entre otros.

De acuerdo con los resultados, se evidencia que en el valle de Sogamoso la zona urbana correspondiente a las veredas Siatame, Vanegas, Villita y Malpaso se encuentra entre las áreas de exclusión, dadas las condiciones del terreno, el alto riesgo sísmico y los antecedentes de los últimos años en cuanto a inundaciones y deslizamientos. Por lo tanto, es necesario articular acciones con el Comité de Gestión del Riesgo y Desastres para facilitar la prevención de estos eventos y establecer acciones para la atención oportuna de los casos que se presenten.

Finalmente, en el estudio se encontraron dos limitaciones: la primera se asocia a la escala de trabajo, que es bastante general y no permite describir específicamente un sector determinado, y la segunda se relaciona con la disponibilidad de información, ya que existen áreas en el municipio que no tienen cartografía disponible y esto no permite efectuar el análisis espacial.

Agradecimientos

Los autores agradecen la gestión de recursos realizada por el Instituto de Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de los Materiales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Secretaría de Minas del Departamento de Boyacá, en el marco del proyecto de investigación *SGR 2013000100206: Aprovechamiento de recursos minero-energéticos y generación de un modelo de planeación para la prospección y explotación de minerales estratégicos del departamento de Boyacá*.





Bibliografía

- Alcaldía de Sogamoso (2016). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 “Sogamoso Incluyente”. Recuperado de http://sogamosoboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/sogamosoboyaca/content/files/000061/3036_plandesarrollomunicipalsogamosoincluyente.pdf.
- Corporación Regional Autónoma de Boyacá (Corpoboyacá) (2013). *Ajuste al PGAR 2009-2019*. Recuperado de <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/10/ajuste-al-pgar-2009-2019.pdf>.
- Huisman, O., & de By, R. (2009). *Principles of Geographic Information Systems*. Enschede: ITC.
- Ley 99 de 1993. (Diciembre 22). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>.
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Service Sciences*, 1(1), 83-98.
- Sharp, R., Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A., Wood, S. & Chaplin-Kramer, R. (Eds.). (2016). *INVEST 3.3.3 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. Recuperado de <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/#invest-user-guide>.
- Municipio de Sogamoso, Secretaría Local de Salud (2013). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, año 2013*. Recuperado de https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/ASIS_2013/ASIS%20SOGAMOSO%202013.pdf.
- Municipio de Sogamoso, Secretaría Local de Salud y Seguridad Social (2011). Plan Territorial de Salud. Municipio de sogamoso.
- Universidad Nacional de Colombia. (2013). *Documento de diagnóstico. Plan de ordenamiento territorial del municipio de Sogamoso*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://186.116.11.66/suimweb/ARCHIVOS/TERRITORIO/DIAGN%C3%93STICOS%20GENERALES/TEDIDODOMU1414694825.pdf>.





Barrenada



Cajuela



Calicata

PROGRAMA NACIONAL DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

¿QUÉ ES UN RECONOCIMIENTO SEMIDETALLADO DE SUELOS?

Es el proceso que permite presentar en un mapa, las clases de suelos e identificar las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos de una región, tiene por objeto determinar las potencialidades y limitantes de uso.

¿PARA QUÉ SIRVE EL RECONOCIMIENTO DE SUELOS?

- Para caracterizar los suelos de una región e identificar sus potencialidades y limitantes mediante un mapa.
- Para conocer las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos.
- Para realizar recomendaciones en cuanto al manejo de cultivos y aplicación de fertilizantes.
- Para conocer el estado de los suelos identificando problemas de erosión y áreas degradadas.
- Para definir los sistemas productivos agropecuarios y forestales, ayudando a la formulación de proyectos productivos.
- Para la planificación de los territorios de consejos comunitarios y resguardos indígenas.
- Para la elaboración y actualización de los planes y esquemas de ordenamiento territorial.
- Para la planificación y realización de planes de manejo y ordenación de cuencas, áreas de protección y proyectos ambientales en general.



La geografía como herramienta para el monitoreo de actividades ilegales: el caso de las sustancias químicas utilizadas en los procesos de extracción y transformación de la cocaína

Geography like a tool for monitoring of illegal activities: Case of chemical substances used in processes of extraction and processing cocaine

German Clavijo¹, Hernando Bernal², Jorge Fonseca³

Resumen

Las sustancias químicas son un motor de desarrollo industrial en Colombia. Ahora bien, aunque sin sustancias químicas no hay drogas ilícitas, los controles para minimizar los riesgos de desviación hacia las actividades ilícitas se deben diseñar de manera que la industria lícita no se vea afectada, y deben crearse mecanismos de control más eficientes e integrales en la política de drogas.

Para contribuir a este propósito, se diseñó un modelo de información mediante el uso de sistemas de información geográfica para dar soporte a los procesos de seguimiento y control de las sustancias químicas utilizadas en los procesos de extracción y transformación de la cocaína. Este modelo permite integrar datos atomizados de actividades ilegales que desde una perspectiva tradicional no tienen una representación en el territorio, para convertirlos en información geográfica útil para la toma de decisiones en la lucha contra las drogas.

Se construyó una base de datos con diferentes fuentes (Ministerio de Defensa, Ministerio de Justicia y del Derecho, Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales y Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito [UNODC]), las cuales aportaron datos sobre las sustancias químicas utilizadas en el procesamiento del clorhidrato de cocaína (importaciones, exportaciones, incautaciones, empresas usuarias del certificado de carencia de informes por tráfico de estupefacientes y oferta de drogas); estas variables se integraron en escalas municipales y departamentales para desarrollar un visor geográfico que permite tener una mirada completa de la distribución y la dinámica de las variables mencionadas durante el período 2010-2014. Esta información se ha integrado en el visor oficial del Observatorio de Drogas.

Palabras clave: sustancias químicas, SIG, cocaína, geografía.

1. Especialista en Análisis Espacial, Universidad Nacional de Colombia. Líder del área de Sistemas de Información Geográfica del proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos de la Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito SIMCI-UNODC. Correo: german.clavijo@unodc.org.

2. Magíster Science en Fitotecnología, Universidade Federal da Bahia, Brasil. Líder área Temática y Análisis del proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos de la Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito SIMCI-UNODC. Correo: hernando.bernal@unodc.org.

3. Ingeniero Catastral y Geodesta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Líder área de Tecnología del proyecto Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos de la Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito SIMCI-UNODC. Correo: jorge.fonseca@unodc.org.





Abstract

Chemicals substances are the engine of industrial development in Colombia. However, although there are no illicit drugs without chemicals, controls to minimize the risk of diversion to illicit activities should be designed in such a way that the licit industry remains clean, creating more efficient and comprehensive control mechanisms in drug policy.

To achieve such purpose, an information model was designed through the use of Geographic Information Systems to support the processes of monitoring and controlling the chemical substances used in the extraction and transformation processes of cocaine. This model allows integrating atomized data of illegal activities which, from a traditional perspective, do not have a representation in the territory to turn them into useful geographical information for the decision making in the fight against drugs.

A database was created from different sources (Ministry of Defense, Ministry of Justice and Law, Tax and Customs Office and UNODC), which provided data on the chemical substances used when processing of cocaine hydrochloride (imports, exports, seizures, companies that use the Certificate of Lack of Reporting for Traffic in Narcotics, and drug supply); these variables were integrated in municipal and departmental scales to develop a geographic viewer that allows a complete look to the distribution and dynamics of the variables mentioned during the period 2010-2014. This information has been integrated into the official window of the Observatory of Drugs from Colombia.

Keywords: GIS, chemical substances, cocaine, geography.



Introducción

Las sustancias químicas son un motor de desarrollo industrial de los países, así que los controles y las investigaciones se deben diseñar de manera que la industria lícita que es usuaria de dichas sustancias se vea beneficiada y que, al mismo tiempo, se minimicen los riesgos de desviación hacia la industria de las drogas ilícitas. Por esta razón, se ha establecido a escala mundial la necesidad de realizar controles que permitan asegurar que la comercialización y la utilización de las sustancias químicas se dirigen a las actividades lícitas.

Adicionalmente, en 2013, 187 países ratificaron la Convención de las Naciones Unidas contra el Tráfico Ilícito de Estupefacientes y Sustancias Sicotrópicas de 1988, que prevé la adopción de medidas para impedir la desviación de las sustancias que se utilizan con frecuencia en la fabricación ilícita de estupefacientes o sustancias sicotrópicas. Colombia, al ratificar la convención, se comprometió a desarrollar los mecanismos que considere para tal fin. El control administrativo de las sustancias químicas se encuentra bajo la dirección del Ministerio de Justicia y del Derecho. Actualmente, en el país se controlan 33 sustancias químicas usadas en la producción de drogas, específicamente en la extracción de clorhidrato de cocaína. A pesar de los controles establecidos por el Ministerio, se ha observado que los indicadores de incautaciones tanto de drogas como de sustancias químicas en Colombia continúan siendo representativos.

Durante los últimos cuatro años, la Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (UNODC) y el Ministerio de Justicia y del Derecho han trabajado en la consolidación de una herramienta tecnológica con énfasis geográfico donde se integren diferentes datos (importaciones, exportaciones, incautaciones, empresas usuarias del certificado de carencia de informes por tráfico de estupefacientes y oferta de drogas) que permitan tener un mejor conocimiento de lo que está ocurriendo con las sustancias químicas controladas en el país y sus relaciones con la oferta de drogas. Los resultados permiten establecer un mapa nacional de la dinámica de las sustancias químicas y correlacionar las variables de las actividades lícitas e ilícitas de manera que se facilite la elaboración de análisis y estrategias de intervención a diferentes escalas (nacional, departamental y municipal) con base en evidencia.

Desarrollo teórico y metodológico

Se definieron cinco fases para la construcción del módulo de sustancias químicas. En la primera, se realizaron talleres interinstitucionales en los cuales se delimitaron los estándares y los mínimos requeridos de un sistema de información útil para la caracterización de la dinámica de sustancias químicas en el país. El resultado fue una matriz con todas las posibles fuentes de información, datos y reportes necesarios.

En la segunda fase se realizó un trabajo de minería de datos que permitió definir cuáles de los campos de la matriz contaban con los parámetros mínimos de un indicador para ser incorporados en un sistema de información. Los parámetros definidos se muestran en la tabla 1.





Tabla 1. Criterios de selección de los indicadores

Criterio	Descripción
Pertinencia	<i>Debe referirse a los procesos y productos esenciales propios del fenómeno bajo estudio; en este sentido, deben priorizarse aquellos indicadores que aportan la información necesaria y suficiente para la comprensión del fenómeno, sin generar saturaciones de información que aumenten la complejidad del seguimiento y la evaluación.</i>
Relevancia	<i>Debe ocuparse de variables relacionadas con los objetivos estratégicos y las metas globales propuestas. En este sentido, es importante identificar con precisión cuáles son los indicadores requeridos para evaluar las diferentes dimensiones del fenómeno, examinando la forma en la que se integrarán los indicadores.</i>
Homogeneidad	<i>Debe definirse con claridad la unidad de producto relacionada con los indicadores, de manera que permitan realizar comparaciones entre las diferentes dinámicas. En el caso de las sustancias químicas, deben considerarse unidades claramente comparables entre las diferentes zonas y regiones, con el fin de hacer factible la identificación de similitudes y diferencias.</i>
Mensurabilidad	<i>Debe tratarse de indicadores medibles. Algunas de las variables importantes que determinan un fenómeno no son directamente mensurables, en estos casos, deben identificarse indicadores indirectos que permitan establecer por lo menos uno o algunos de los rasgos relevantes para la evaluación de esta variable.</i>
Simplicidad	<i>Deben ser tan simples como sea posible, de acuerdo con la naturaleza del fenómeno que quiere evaluarse. En tal sentido, es preferible un conjunto pequeño de indicadores clave generados a partir de datos primarios que un sistema excesivamente complejo que disminuya la posibilidad de ser utilizado en forma general.</i>
Costo	<i>Deben ser tan baratos como sea posible. Un indicador que consuma un alto volumen de recursos (humanos y financieros) tendrá menores posibilidades de utilizarse; en algunos casos, deben desecharse indicadores técnicamente adecuados pero que requieren de un esfuerzo institucional demasiado grande en el proceso de generación o en el procesamiento de la información.</i>
Oportunidad	<i>Deben ser generados en el momento oportuno, dependiendo en cada caso del indicador mismo y de la periodicidad razonable para su levantamiento.</i>
Confiabilidad	<i>Deben ser dignos de confianza, independientemente de quien realiza la evaluación. Para ello, deben preferirse indicadores que involucren el menor grado de subjetividad posible, dando prioridad a los indicadores objetivamente verificables.</i>
Participación	<i>Hasta donde sea posible, los indicadores deben considerar los puntos de vista de los diferentes agentes involucrados.</i>

Fuente: Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito, Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (UNODC-SIMCI), 2011, p. 13.





Según los criterios, se definieron seis fuentes de información, y la tercera fase se centró en la consolidación de la información en dos grupos: el primero, con datos relacionados con actividades lícitas:

- Importaciones de sustancias químicas controladas registradas por la DIAN

El panorama del comercio internacional de las sustancias que ingresan al país, especialmente lo relacionado con los países de origen, de fabricación, de compra y de tránsito, permite generar reportes de interés para el control administrativo y para definir posibles formas de ingreso ilegal de sustancias al país.

- Empresas usuarias del certificado de informes de carencia por tráfico de estupefacientes

De importancia para determinar dónde se encuentran localizadas las empresas que tienen permiso para el uso de cada sustancia.

- Sustancias químicas puestas a la disposición de la Dirección Nacional de Estupefacientes

Conocer dónde y cómo están almacenadas las sustancias químicas incautadas y puestas a disposición de la Dirección Nacional de Estupefacientes (DNE) es de utilidad para el diseño de estrategias de disposición final adecuada. Al 2012, de acuerdo con la información recolectada, se desconoce la cantidad de sustancias que se encuentran distribuidas en toda la geografía nacional, y menos conocida es aún la información relacionada con el tipo de sustancias, su condición físico-química y su situación jurídica.

- Comercialización y distribución de cemento gris

El cemento se considera un insumo fundamental en el proceso de extracción del alcaloide de la hoja de coca. Se incluyó dentro del grupo de información relevante con el fin de entender las dimensiones de la comercialización de este insumo, y además para buscar si existe alguna relación entre la comercialización y la siembra de cultivos de coca. Este archivo contiene un consolidado de la información acerca del cemento gris establecida por un censo de producción y despachos mensuales de las compañías productoras de cemento.

El segundo grupo de datos está relacionado con las actividades ilícitas:

- Incautaciones de sustancias químicas controladas

Permiten determinar por cuáles regiones de Colombia se están movilizandolas sustancias químicas utilizadas en la extracción y la transformación de la droga. Aunque una sustancia puede ser incautada por diferentes razones, es la única variable disponible.

- Hectáreas sembradas con cultivos de coca por municipio y departamento

El Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivo Ilícitos cuenta con la información georreferenciada de la presencia de cultivos de coca en Colombia para la serie 2001-2016. Aunque los datos permiten desagregaciones a escala de 1:30.000, se incluyó la base de datos en escalas municipales y departamentales debido a que las otras fuentes de información solo están en esta escala. Se busca establecer niveles de relaciones con las demás variables presentadas.





Con los datos mencionados, se inició la cuarta fase con el objetivo de definir los reportes que, por defecto, tendría la solución tecnológica (tabla 2).

Tabla 2. Reportes de la dinámica de las sustancias químicas generados en el módulo

Tabla	Reportes
IMP_DATA	<ul style="list-style-type: none">- Toneladas importadas por país de origen y año.- Toneladas importadas por país de procedencia y año.- Toneladas importadas por país de compra y año.- Toneladas importadas por país, origen, año y sustancia (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, amoníaco, anhídrido acético, permanganato de potasio, solventes).- Toneladas Importadas por país de procedencia, año y sustancia (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, amoníaco, anhídrido acético, permanganato de potasio, solventes).- Toneladas Importadas por país de compra, año y sustancia (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, amoníaco, anhídrido acético, permanganato de potasio, solventes).- Toneladas importadas por aduana y año.- Toneladas importadas por municipio importador y año.- Toneladas importadas por vía de transporte y año.- Toneladas Importadas por sustancia, año y vía de transporte (aéreo, marítimo, terrestre).
DNE_DATA	<ul style="list-style-type: none">- Cantidad por sustancia, unidad y año.
CEM_DATA	<ul style="list-style-type: none">- Toneladas despacho de cemento gris por departamento, canal de distribución y año (comercialización, concreteiras, constructores y contratistas, otros)
INC_DATA	<ul style="list-style-type: none">- Incautaciones por departamento y año (galones y kilogramos).- Incautaciones por departamento, sustancia y año (ácido clorhídrico [gal], ácido sulfúrico [gal], amoníaco [gal], anhídrido acético [gal], permanganato de potasio [kilo], solventes [gal]).
EMP_DATA	<ul style="list-style-type: none">- Cantidad de empresas por departamento y sustancia (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, amoníaco, anhídrido acético, permanganato de potasio y solventes).
COCA_DATA	<ul style="list-style-type: none">- Reporte de hectáreas cultivadas de coca por año, por municipio y departamento.

Fuente: UNODC-SIMCI (2014).





La última fase se centró en el diseño de la plataforma tecnológica o módulo geográfico de las sustancias químicas con énfasis en la base de datos y el visor geográfico.

- Descripción general del aplicativo

El prototipo funcional diseñado para visualizar la información procesada para las fuentes de datos mencionadas presenta tres características principales:

1. La visualización y el acceso a la información geográfica cargada en la base de datos.
2. El acceso a los reportes detallados y específicos sobre todas y cada una de las temáticas disponibles a nivel de base de datos.
3. La posibilidad de servir la información geográfica en línea.

Los componentes de base que se implementaron fueron:

- a. Una base de datos en Postgres, con soporte geográfico, que permite centralizar la información, tanto geográfica como alfanumérica, con dos schemas: el primero para la información geográfica que se maneja a escala departamental y municipal, y el segundo para las bases de datos alfanuméricas con información desagregada, pero con restricciones de manejo y uso.
- b. Un servidor geográfico GeoServer, que se encarga de publicar, organizar y servir la información geográfica mediante una conexión directa con la base de datos. Este servidor soporta gran cantidad de características como el caché de imágenes, niveles de seguridad, accesos personalizados y cuenta con una interfaz gráfica para la administración de los geoservicios que consumirá el visor.
- c. Por último, una aplicación web que permite la visualización y la integración de los contenidos anteriormente descritos. Esta aplicación utiliza componentes y librerías compatibles con los navegadores web disponibles en el mercado.

- Interfaz gráfica de usuario

El entorno gráfico diseñado presenta una división funcional por paneles; esta característica, suministrada por la extensión Ext Js y potencializada por GeoExt, facilita la escalabilidad de la aplicación al permitir agregar nuevos paneles en diferentes localizaciones, como barras de herramientas o cuadros de controles adicionales.

Las características de navegabilidad han sido heredadas del API OpenLayers y se muestran fundamentalmente en los cuadros superior e inferior izquierdo del mapa (figura 1). Las opciones estándar de paneo y zoom se encuentran disponibles y controladas para una visualización más adecuada del área de interés, permitiendo así una vista inicial para todo el territorio nacional y una vista máxima a nivel de departamento.



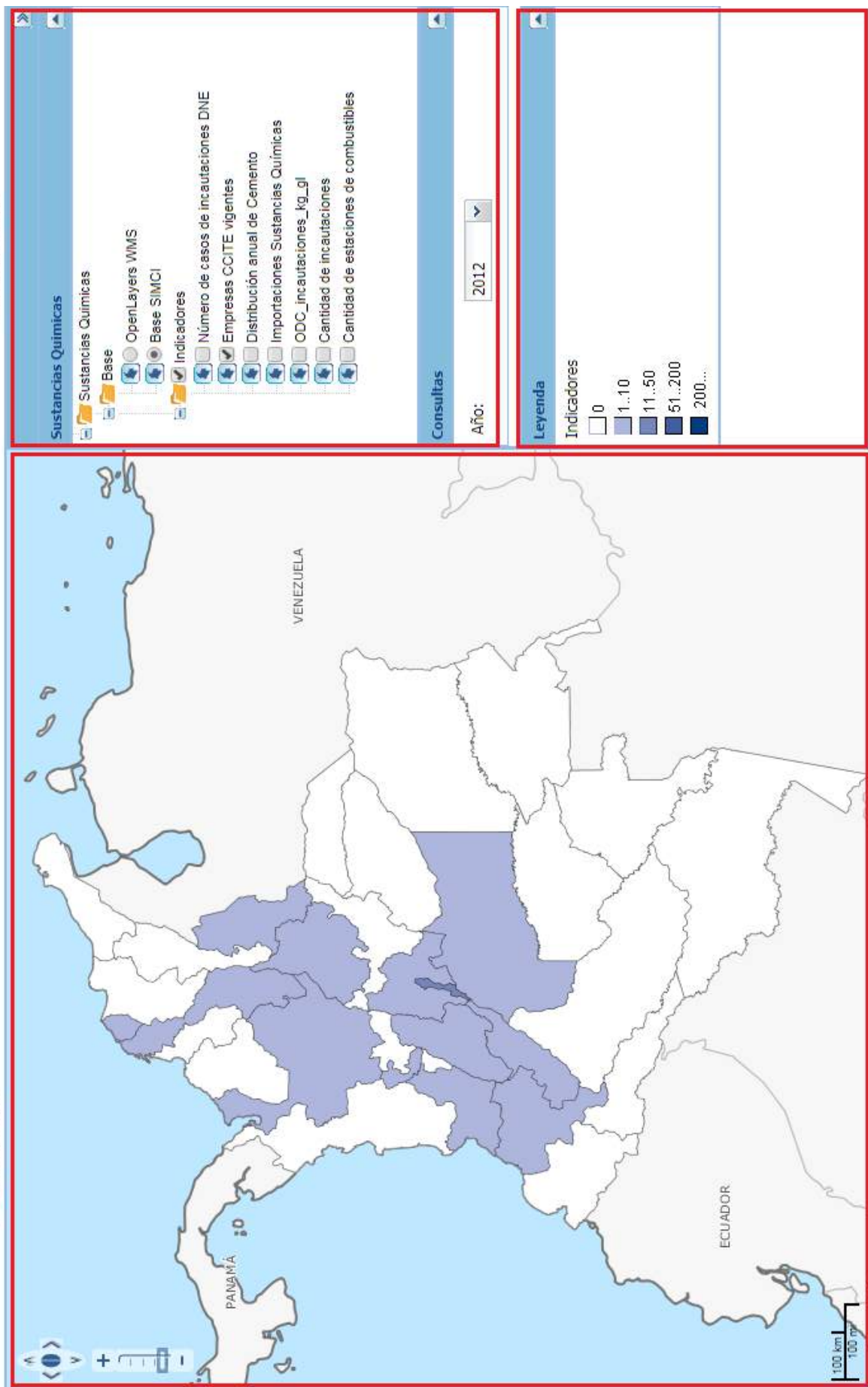


Figura 1. Vista general de aplicativo de geografía de las sustancias químicas

Fuente: elaboración de los autores.



El visor geográfico cuenta con tres paneles disponibles que se encuentran integrados e interrelacionados entre sí.

Los paneles disponibles son:

1. Visualización de la información geográfica: permite tener todas las capas de información espacial que se encuentren configuradas y disponibles desde el servidor geográfico.
2. Panel de capas: se divide en cuatro secciones fundamentales, la primera muestra las capas de cartografía básica disponibles para su visualización; allí es posible seleccionar solo una cada vez, mediante un control. Se encuentran disponibles dos coberturas básicas de información una propia del SIMCI, y otra de OpenLayers.

La segunda y la tercera sección están destinadas para presentar la información por año. Contienen todas las capas temáticas disponibles y permiten prender y apagar las capas temáticas mediante un control. La última sección permite la visualización de las capas generales. Estas capas permiten consultar las bases de datos y generar el reporte general o detallado sobre un departamento en particular.

3. Panel de leyenda: en esta sección se muestran las convenciones de las coberturas geográficas a partir de las librerías de estilos cargadas en el servidor geográfico.

Conclusiones

El uso de herramientas tecnológicas para la estructuración de información relacionada con las sustancias químicas facilita la lectura y el análisis de grandes cantidades de información.

La especialización de fenómenos que no dejan una huella sobre el territorio, como la dinámica de sustancias químicas, permite integrar y buscar relaciones con datos de otras fuentes de información.

La generación de estrategias para asegurar la sostenibilidad de los datos y, por lo tanto, del módulo de geografía de sustancias químicas es de carácter primordial para las instituciones de control de sustancias químicas del Gobierno de Colombia.

Conocer la dinámica en la escala nacional, regional y local de las sustancias químicas, en el entendido de que son diferentes de acuerdo con cada zona geográfica del país, permite diseñar políticas y estrategias que estén de acuerdo con las particularidades de cada una de las regiones.





Bibliografía

- Naciones Unidas (1988). Convencion de las Naciones Unidas Contra el Tráfico Ilícito de Estupefacientes y Sustancias Sicotrópicas. Recuperado de https://www.unodc.org/pdf/convention_1988_es.pdf.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito, Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (UNODC-SIMCI). (2016). *Caracterización de la oferta y la demanda lícita e ilícita de las sustancias químicas esenciales en la producción de cocaína en la región Pacífico de Colombia*.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito, Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (UNODC-SIMCI). (2015). *Seguimiento integral de las variables de control de sustancias químicas en Colombia*. Recuperado de http://www.biesimci.org/Documentos/Documentos_files/Censo_cultivos_coca_2013.pdf.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito, Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (UNODC-SIMCI). (2014). *Monitoreo de los territorios afectados por cultivos ilícitos 2013*.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito, Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (UNODC-SIMCI). (2014). *Geografía de las sustancias químicas*.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito, Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (UNODC-SIMCI). (2011). *Indicadores para el seguimiento de la consolidación de zonas libres de cultivos ilícitos*.



GEOGRÁFICO AGUSTÍN

PRODUCTOS Y SERVICIOS CON CALIDAD

Para conocer nuestros
productos y servicios consulte

www.igac.gov.co

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC
Oficina Sede Central en Bogotá
Carrera 30 N° 48-51

Oficinas de atención a nivel nacional
Conmutador: [571] 3694000 ó 3694100
Línea de atención al cliente: 018000 915570

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



Normas editoriales

La revista *Análisis Geográficos* es una publicación de carácter científico y divulgativo, con periodicidad semestral, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Desde su primer número, publicado en 1982, es uno de los canales institucionales para difundir los avances, los proyectos y las actividades de importancia para la comunidad científica, académica y demás lectores interesados en el análisis y los informes geográficos, cartográficos, de planificación territorial, tecnológicos y de infraestructura y catastro, entre otros. Los objetivos de la publicación son los siguientes:

1. Presentar los resultados de trabajos de investigación del IGAC y de diferentes entidades públicas, privadas, académicas y, en general, de aquellas relacionadas con el sector de la información básica, en su calidad de usuarias y productoras de los datos geoespaciales del país.
2. Difundir los avances en proyectos de innovación y transferencia tecnológica de impacto institucional, con el fin de compartir experiencias y promover la generación de nuevo conocimiento sobre la producción y el acceso a la información geográfica como soporte a la toma de decisiones y el desarrollo sostenible.

La revista *Análisis Geográficos* tratará temas relacionados con las siguientes disciplinas:

- Fotogrametría digital y producción de cartografía básica y temática
- Geodesia y posicionamiento satelital
- Agrología
- Catastro, planificación urbana y regional
- Geografía
- Ordenamiento territorial
- Restitución de tierras
- Aplicaciones de percepción remota
- Gestión de información geográfica
- Infraestructuras de datos espaciales
- Estándares de información geográfica
- Implementación de sistemas de información geográfica, análisis y modelamiento espacial
- Desarrollo de aplicaciones SIG y servicios web
- Gestión ambiental basada en el uso de tecnologías geoespaciales
- Cambio climático
- Nuevas tecnologías y nuevas aplicaciones





Para ser incluidos en la revista *Análisis Geográficos*, los artículos deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. El texto debe entregarse en formato digital, en letra Arial, 12 puntos, interlineado a espacio 1,5 y en papel tamaño carta.
2. El número máximo de páginas es 30 para investigaciones científicas y tecnológicas, y 20 para artículos de revisión, reflexión y avances de investigación, incluyendo tablas, figuras, fotografías y bibliografía.
3. El texto debe tener la siguiente estructura:

- **Título:** debe reflejar el contenido en forma clara y concisa y no exceder las 20 palabras.
- **Autor y coautores:** nombres completos, información académica (solo el título más alto obtenido), información laboral actual, institución y correo electrónico.

Si se trata de contenido relacionado con un proyecto, incluir la siguiente información: artículo proveniente del proyecto Título completo, ejecutado en el periodo fecha de inicio-fecha de terminación, inscrito en el grupo de investigación nombre del grupo de nombre de la institución. [Si es un trabajo de grado, se especifica el título obtenido y el director del trabajo].

- **Resumen:** presenta de forma clara los objetivos, los métodos, los resultados más relevantes y las conclusiones. No debe exceder las 250 palabras.
- **Palabras clave:** indican los temas más relevantes que son tratados en el artículo para facilitar su clasificación y divulgación. Para identificar las palabras clave relacionadas con la temática, se sugiere consultar un tesoro como el de la Unesco: <http://skos.um.es/unescothes/view.php?alf=A>.
- **Abstract:** el resumen traducido al inglés es copia fiel, idéntica del español, enunciado por enunciado.
- **Key words:** palabras clave en inglés.
- **Introducción:** debe contener la situación actual del problema, la revisión de los trabajos previos relacionados con este y los objetivos que orientan la investigación.
- **Contenido del artículo:** los artículos que son producto de investigaciones deben incluir en esta sección los siguientes elementos:
 - **Materiales y métodos:** Se deben describir de forma clara y concisa los materiales utilizados en el desarrollo del trabajo, además de las metodologías y procedimientos empleados en el tratamiento de los datos, de tal forma que





otros investigadores puedan reproducir los resultados. Para clasificar los temas tratados se deben utilizar subtítulos para separar las secciones, así:

Título 1 (de la introducción en adelante)

Subtítulo 2

Subtítulo 3

Subtítulo 4

- *Resultados y discusión*: se presentan los resultados siguiendo una secuencia lógica, con el apoyo de tablas y figuras que deben ser fáciles de leer e interpretar y deben citarse siempre en el texto. Las fórmulas y tablas deben insertarse en un formato editable, no como imágenes.

La discusión de resultados debe destacar los aspectos nuevos e importantes del estudio, contrastándolos con los obtenidos en la literatura más actual correspondiente.

Los artículos que tratan sobre revisiones bibliográficas, ensayos, avances de investigación, etc., deben desarrollar los diferentes temas y utilizar subtítulos que permitan su clasificación e identificación.

- *Conclusiones*: en esta sección se mencionan los hallazgos más concluyentes de la investigación, además de un direccionamiento hacia futuras investigaciones.
- *Agradecimientos (opcional)*: si se considera necesario, se agradecen aquellas contribuciones determinantes en la concepción, financiación o realización de la investigación.
- *Bibliografía*: listado de fuentes citadas en el texto, que deben ordenarse alfabéticamente. La cantidad mínima sugerida es de 15 referencias. Se debe utilizar el estándar de normas APA para las citas y referencias bibliográficas: <http://normasapa.com/como-hacer-referencias-bibliografia-en-normas-apa/>. Los modelos de citación son los siguientes:

Libros:

Tao, Y. & Dimitris, P. (2001). *The MV3-Tree: A Spatiotemporal access method for timestamp and interval queries*. New York: McGraw Hill.

Capítulos de libro:

Dimitris, P. (2001). The MV3-Tree. En: Tao, Y. (Ed.). *The MV3-Tree: A Spatiotemporal access method for timestamp and interval queries* (pp. 20-25). New York: McGraw Hill.





Libros electrónicos:

Tao, Y. & Dimitris, P. (2001). *The MV3-Tree: A Spatiotemporal access method for timestamp and interval queries*. New York: McGraw Hill. Recuperado de <http://www.xxxxxxx.xxx>.

Artículos de revistas y publicaciones periódicas:

Viqueira, J. R. R., & Lorentzos, N. A. (2007). SQL extension for spatio-temporal data. *The VLDB Journal*, 16(2), 179-200. <https://doi.org/10.1007/s00778-005-0161-9>.

Ponencias:

Cook, C. & Thompson, B. (2000). *Nueva cultura de la evaluación: informe preliminar de la encuesta ARL SERVQUAL*. Ponencia presentada en el 66th IFLA Council and General Conference, Jerusalem, Israel, 13-18 de agosto.

Tesis:

González, D., Porras, M., Sánchez, L. y Vargas, A. (2000). *Propuesta para la planificación y diseño de bibliotecas infantiles del Sistema de Bibliotecas de la Municipalidad de San José* (tesis de doctorado). Escuela de Bibliotecología y Ciencias de la Información, Universidad de Costa Rica.

– *Bibliografía complementaria (opcional)*: listado de fuentes no citadas en el texto que sirvieron de apoyo documental para el desarrollo del trabajo. Debe cumplir con el estilo solicitado por la revista para la presentación de referencias bibliográficas.

1. Cuando se utilizan siglas o abreviaturas, deben escribirse completas la primera vez que se nombren en el texto. Ej.: Organización de las Naciones Unidas (ONU). Si una abreviatura o sigla no se utiliza más de dos veces, es preferible no incluirla en el texto.
2. Las fórmulas y ecuaciones deben insertarse en letra Cambria Math 11 (formato predeterminado en Word). La ecuación irá centrada respecto a la columna, con el número de ecuación alineado a la derecha.
3. Las figuras (diagramas, dibujos o mapas), las fotografías convencionales y las imágenes de sensores remotos se deben entregar en archivos separados, en formato JPG o TIFF. Deben ir numeradas de forma consecutiva e indicar el nombre y la fuente de la cual fueron tomadas. Si se trata de figuras elaboradas por los autores, indicar que son de “elaboración propia”. La resolución mínima es de 120 dpi y la máxima es de 300 dpi.





4. Las tablas se entregarán en formato digital y editable.

Se recomienda a los autores prestar especial atención a la revisión gramatical y ortográfica, así como a la presentación de los artículos.

Otras consideraciones

- El idioma oficial de la revista es el español.
- Únicamente serán aceptados para su publicación los artículos originales que no hayan sido o estén en proceso de publicarse en otros órganos divulgativos, sin importar cuál sea su idioma.
- Es responsabilidad del autor obtener el permiso escrito para reproducir material que haya aparecido en otras publicaciones o que considere información restringida.
- Las opiniones expresadas en los artículos son responsabilidad exclusiva de los respectivos autores.
- La Oficina Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF) es la dependencia del IGAC encargada de realizar las convocatorias de artículos para la revista *Análisis Geográficos*, lo cual no limita la iniciativa de otras áreas e instituciones interesadas en formular sugerencias y propuestas sobre temas relacionados con los objetivos de la misma.
- Cada artículo será sometido a un proceso de evaluación. El Comité Editorial se reserva el derecho de sugerir modificaciones a los artículos y de establecer cuáles serán publicados.
- El Comité Editorial de la revista *Análisis Geográficos* acusará recibo de los originales e informará al autor sobre su aceptación y gestiones para la publicación.

De los artículos aceptados en la revista *Análisis Geográficos*, se entenderá que su autor o autores le ceden a esta los derechos patrimoniales para su publicación en cualquier formato (análogo o digital).



Análisis Geográficos

REVISTA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI

Para conocer otros productos
y publicaciones del IGAC,
consulta nuestro

CATÁLOGO DIGITAL

www.igac.gov.co

Instituto Geográfico Agustín Codazzi
Oficina Sede Central en Bogotá
Carrera 30 N° 48-51

Oficinas de atención al ciudadano
a nivel nacional

Conmutador 57-1-3694000
ó 57-1-3694100

IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia